



“SAPIENZA”
Università di Roma



Area Strade

Dipartimento di Ingegneria
Civile, Edile e Ambientale

Dottorato di Ricerca in
Infrastrutture e trasporti

**Indici di qualità geometrica per la valutazione della sicurezza
dell'infrastruttura in condizioni di esercizio.**

Relatore
Giuseppe Cantisani

Dottorando
Michele Di Vito

XXIII CICLO - ANNO ACCADEMICO 2009-2010

Indice

Capitolo I - I numeri della Sicurezza Stradale	1
I.1 - Traffico veicolare e sistema di trasporto	1
I.2 - L'incidentalità stradale	2
I.2.1 - Concetto di tasso incidentale.....	5
I.3 - L'incidentalità stradale in Italia.....	6
I.4 - Fattori incidentali.....	9
I.5 - Il white paper	12
I.6 - Il Piano Nazionale per la Sicurezza Stradale.....	13
Capitolo II - Le teorie valutative della sicurezza delle infrastrutture stradali	14
II.1 - Premessa.....	14
II.2 - Risk Homeostasis Theory	15
II.2.1 - Premessa	15
II.2.2 - Ipotesi base ed applicazione della teoria al contesto stradale.....	16
II.2.2.1 - Compensazione del rischio ed economia: valutazioni di Peltzman sugli standard di sicurezza dei veicoli.	17
II.2.2.2 - Compensazione del rischio e psicologia: Wilde Risk Homeostasis Theory.	18
II.2.3 - Teorie confutative	20
II.2.4 - Conclusioni	20
II.3 - Design Consistency	22
II.3.1 - Premessa	22
II.3.2 - Velocità operativa	23
II.3.3 - Modelli predittivi della V_{85}	24
II.3.3.1 - Parametri di geometrici di Input.....	26
II.3.3.1.a - Radius of curve.....	26
II.3.3.1.b - Degree of Curve	26
II.3.3.1.c - Curvature Change Ratio	27
II.3.3.1.d - Tangents length	28
II.3.3.2 - Velocità sulle singole curve.....	28
II.3.3.3 - Velocità ambientale	32
II.3.3.4 - Velocità sui rettilinei, valutazione della successione degli elementi	35
II.3.3.5 - Valutazione dell'altimetria	38
II.3.3.6 - Diagramma delle velocità operative.....	41
II.3.3.7 - Valutazioni statistiche dei parametri cinematici.....	44
II.3.4 - Criteri di letteratura per la valutazione della sicurezza.....	45
II.3.4.1 - Criteri di Lamm, Safety Criteria.....	45
II.3.4.1.a - Safety criterion I.....	46
II.3.4.1.b - Safety criterion II	47
II.3.4.1.c - Safety criterion III	48

II.3.4.2 - Criteri di consistenza della normativa italiana	49
II.3.4.3 - Criteri di sicurezza alternativi	51
II.3.4.3.a - Mental Workload.....	52
II.3.4.3.b - Indici di valutazione della sicurezza	54
II.3.4.3.c - Fuzzy logic	56
II.3.5 - Conclusioni	57
II.4 - Road Safety Audit	58
II.4.1 - Premessa	58
II.4.2 - Fasi e contesto applicativo.....	59
II.4.3 - Procedure di analisi.....	61
II.4.3.1 - Gruppi di controllo	62
II.4.3.2 - Aspetti operativi	64
II.4.4 - Conclusioni	66
Capitolo III - Sicurezza Stradale: Strumento d'analisi proposto.	68
III.1 - Premessa	68
III.2 - Aspetti quantitativi omeostatici	68
III.3 - Velocità ambientale adattiva - Modello predittivo	71
III.4 - Velocità operativa - Modello Predittivo	74
III.5 - Modello comportamentale completo	76
III.6 - Profilo delle velocità operative	77
III.7 - Considerazioni	80
Capitolo IV - Sicurezza Stradale: Indici di valutazione.....	82
IV.1 - Premessa.	82
IV.2 - Indici descrittivi del tracciato.	82
IV.2.1 - Indici di tortuosità cinematica	82
IV.2.2 - Indici di tortuosità operativa	84
IV.3 - Indici di sicurezza.....	86
IV.3.1 - Indici di sicurezza: Safety criteria I.....	86
IV.3.2 - Indice di sicurezza: Safety criteria II.....	89
IV.4 - Calcolo dell'incidentalità - Metodo HSM.	92
IV.5 - Considerazioni	94
Capitolo V - Esempi Applicativi su Base Sperimentale.	96
V.1 - Premessa	96
V.2 - Calibrazione parametri modello predittivo di Velocità operativa.....	96
V.3 - Calibrazione parametri modello predittivo di Velocità ambientale e CCV_{AMB}	101
V.4 - Indici di valutazione della sicurezza - Esempi.....	104
V.5 - Conclusioni	107
Capitolo VI - Conclusioni	110
VI.1 - Considerazioni generali sulle teorie di letteratura	110
VI.2 - Considerazioni sulla generalità del metodo proposto	111

VI.3 - Considerazioni sulle potenziali applicazioni del metodo	112
VI.3.1 - Modello predittivo della velocità operativa - Applicazioni ITS.	112
VI.3.2 - Modello predittivo della velocità operativa - Ricerca dei punti neri.....	113
Appendice A - Road Safety Audit	115
A.1 - Check list Internazionali	115
A.1.1 - Regno unito.....	115
A.1.2 - Australia.....	118
A.1.3 - Nuova Zelanda.....	119
A.1.4 - Usa	123
A.1.5 - Italia	128
Riferimenti Bibliografici	A

Indice delle Figure

Figura I.1 - Distribuzione globale delle cause di mortalità per infortunio, [5].	3
Figura I.2 - Costi per abitante dovuti ad incidenti stradali, mortali e non, aggiornati al 2008, [6].	4
Figura I.3 - Rapporto tra tasso di mortalità degli incidenti stradali e Prodotto Interno Lordo, [6]	5
Figura I.4 - Tasso di mortalità per incidenti stradali per i 27 Stati UE e la Comunità Stati Indipendenti, [6].	6
Figura I.5 - Tasso di mortalità per incidenti stradali in Italia, [7].	6
Figura I.6 - Distribuzione degli incidenti stradali mortali in Europa divisi per categoria di utente, [6].	7
Figura I.7 - Distribuzione dei morti in funzione dell'età e della categoria di utente stradale, [6].	7
Figura II.1 - V_{85} .	24
Figura II.2 - Degree of curve.	26
Figura II.3 - Curvature Change Ratio.	27
Figura II.4 - Determinazione del CCR per differenti configurazioni geometriche, [17].	28
Figura II.5 - Confronto modelli previsionali basati sul CCR.	30
Figura II.6 - Ostruzione in destra in curva destrorsa, [19].	31
Figura II.7 - Esempio di definizione di tratto omogenei di strada per il calcolo della V_{Env} , [23].	33
Figura II.8 - Velocità ambientale in funzione della "tortuosità" del tratto omogeneo, [23].	34
Figura II.9 - Tratto transitorio nel passaggio tra due tronchi omogenei di strada.	34
Figura II.10 - Velocità finale sul rettilineo in relazione alla sua lunghezza, [22].	36
Figura II.11 - Variazione della V_{85} in funzione dei parametri di input, [24].	38
Figura II.12 - V_{85} su raccordi convessi in corrispondenza di tratti rettilinei, [22].	39
Figura II.13 - V_{85} su raccordi concavi in corrispondenza di tratti rettilinei, [22].	39
Figura II.14 - Influenza della pendenza longitudinale sulla V_{85} , [22].	40
Figura II.15 - Configurazione del caso di studio e significato dei parametri di input, [20].	41
Figura II.16 - Diagramma delle velocità operative relativo alle V_{85} dei singoli elementi.	42
Figura II.17 - Relazione tra moduli di accelerazione e decelerazione e raggio della curva, [28].	43
Figura II.18 - Possibili configurazioni di accelerazione e decelerazione, [29].	43
Figura II.19 - Condizioni di stabilità del veicolo in curva.	49
Figura II.20 - Criteri di coerenza geometrica, [8].	50
Figura II.21 - Visore a cristalli liquidi per la misura della <i>Visual Demand</i> , [41].	52
Figura II.22 - Valutazione del Mental Workload, [41].	53
Figura II.23 - Dati di monitoraggio, [41].	54
Figura II.24 - Visual Load Index, [44].	55
Figura II.25 - Fuzzy logic applicata alla design Consistency, [41].	56

Figura II.26 - <i>RSR</i> in ambito urbano: confronto <i>Before-After</i> su un incrocio semaforizzato [51].	60
Figura III.1 - Velocità ambientale - Latenza dell'adattamento alle condizioni geometriche.	69
Figura III.2 - Velocità asintotica.	71
Figura III.3 - Modello V_{AMB} per il calcolo della Velocità Ambientale.	73
Figura III.4 - Modello CCV, vantaggi applicativi.	75
Figura III.5 - Modello CCV.	75
Figura III.6 - Modello previsionale CCV_{AMB} $x=1$ $y=1$.	76
Figura III.7 - Modello previsionale CCV_{AMB} $x=2$ $y=2$.	77
Figura III.8 - Tracciato di esempio.	78
Figura III.9 - Diagramma delle curvature - tracciato di esempio.	78
Figura III.10 - Diagramma delle velocità di progetto.	78
Figura III.11 - Applicazione modello CCV.	79
Figura III.12 - Applicazione modello V_{AMB} .	79
Figura III.13 - Applicazione modello CCV_{AMB} e confronto con dati sperimentali.	79
Figura III.14 - Profilo delle velocità operative per i due versi di percorrenza.	80
Figura III.15 - Andamento della V_{85} in condizioni geometriche non vincolate.	81
Figura IV.1 - Diagramma delle curvature e delle velocità di progetto.	84
Figura IV.2 - Diagramma delle curvature e delle V_{85} .	86
Figura IV.3 - Analisi del tracciato tramite gli indici di sicurezza: <i>Safety criteria I</i> .	88
Figura IV.4 - Riconoscimento geometrico di porzioni omogenee di tracciato: <i>Safety criteria II</i> .	90
Figura IV.5 - Andamento delle differenze esistenti le V_{85i} : <i>Safety Criteria II</i> .	90
Figura IV.6 - Analisi del tracciato tramite gli indici di sicurezza: <i>Safety criteria II</i> .	91
Figura IV.7 - <i>H.S.M. Accident Modification Factors: Lane width. Exhibit 13.2/13.3.</i>	93
Figura IV.8 - <i>H.S.M. Accident Modification Factors: Shoulder width. Exhibit 13.11/13.12.</i>	93
Figura IV.9 - <i>H.S.M. Accident Modification Factors: Shoulder type. Exhibit 13.15.</i>	94
Figura IV.10 - Confronto risultati analisi di sicurezza.	95
Figura V.1 - Stazione di monitoraggio VPL, [64].	97
Figura V.2 - Lunghezza e classe dei veicoli, [64].	97
Figura V.3 - Strada monitorata di Classe A - Via Marcigliana.	98
Figura V.4 - Strada monitorata di Classe A - Via della Giustiniana.	98
Figura V.5 - Strada monitorata di Classe B - Via di Porta Medaglia.	99
Figura V.6 - Strada monitorata di Classe B - Via Braccianese.	99
Figura V.7 - Strada monitorata di Classe C - Via di Trigoria.	99
Figura V.8 - Strada monitorata di Classe C - Via di Malagrotta, Via di Ponte Galeria.	100

Figura V.9 - Regressioni sui dati sperimentali, [65].	100
Figura V.10 - Sapienza Driving Simulator.	101
Figura V.11 - Deviazione angolare cumulata - Tracciato A, [66].	102
Figura V.12 - Andamento delle curvature - Tracciato A, [66].	102
Figura V.13 - Diagramma delle velocità - Tracciato A, [66].	102
Figura V.14 - Confronto tra velocità operative sperimentali e calcolate con il modello CCV_{AMB} .	102
Figura V.15 - Peculiarità del metodo proposto.	103
Figura V.16 - Deviazione angolare cumulata - Tracciato B, [66].	104
Figura V.17 - Andamento delle curvature - Tracciato B, [66].	104
Figura V.18 - Diagramma delle velocità - Tracciato B, [66].	104
Figura V.19 - Analisi di sicurezza relativa al Tracciato B	105
Figura V.20 - Deviazione angolare cumulata - Tracciato C, [66].	106
Figura V.21 - Andamento delle curvature - Tracciato C, [66].	106
Figura V.22 - Diagramma delle velocità - Tracciato C, [66].	106
Figura V.23 - Analisi di sicurezza relativa al Tracciato C.	107
Figura V.24 - Calibrazione "ad hoc" su profilo delle V_{85} del simulatore.	108
Figura V.25 - Applicazione del fenomeno di anticipazione dell'utente.	108
Figura VI.1 - Analisi del profilo delle V_{85} , [68].	112
Figura VI.2 - Indici SCI : punti critici dell'infrastruttura.	113
Figura A.1 - On-line interactive checklist, [69].	115

Indice delle tabelle

Tabella I.1- Utilizzazione di quattro modalità di trasporto nell'UE-25 rapportata al trasporto totale di passeggeri calcolato in passeggeri/km.	1
Tabella I.2 - Incidentalità relativa all'ambito stradale, [7].	8
Tabella I.3 - Incidentalità sulla rete extraurbana, escluse le autostrade, secondo il tipo di strada, [7]. ...	8
Tabella I.4 - Incidenti e persone infortunate secondo la natura, [7].	9
Tabella I.5 - Cause di incidentalità - Utente stradale.	10
Tabella I.6 - Cause di incidentalità - Infrastruttura.	10
Tabella I.7 - Cause di incidentalità - Veicolo.	11
Tabella I.8 - Politiche di miglioramento della sicurezza stradale.	11
Tabella I.9 - Politiche di attenuazione degli effetti incidentali.	11
Tabella I.10 - Studi di ricerca finalizzata alla prevenzione degli incidenti.	11
Tabella IV.1 - Indici di tortuosità cinematica.	83
Tabella IV.2 - Indici di tortuosità operativa.	85
Tabella IV.3 - Indici di sicurezza: <i>Safety criteria I</i>	87
Tabella IV.4 - Indici di sicurezza: <i>Safety criteria II</i>	89
Tabella IV.5 - Valori limite confronto V_{85} : <i>Safety Criteria II</i>	91
Tabella IV.6 - Valori limite V_{85} : <i>Safety Criteria II</i> . Tracciato di Esempio.	91
Tabella IV.7 - Condizioni base di riferimento per il calcolo dell'incidentalità, [67].	92
Tabella V.1 - Strade monitorate, Classi CCR_G , [65].	100
Tabella V.2 - Parametri di calibrazione modello CCV	101
Tabella V.3 - Parametri di calibrazione modello CCV_{AMB}	104
Tabella V.4 - Indici di qualità relativi al Tracciato B.	105
Tabella V.5 - Indici di qualità relativi al Tracciato C.	106
Tabella A.1 - RSA checklist stage 1, [69].	116
Tabella A.2 - RSA checklist stage 1/2, [69].	116
Tabella A.3 - RSA checklist stage 2a, [69].	116
Tabella A.4- RSA checklist stage 2b, [69].	117
Tabella A.5 - RSA checklist stage 3a, [69].	117
Tabella A.6 - RSA checklist stage 3b, [69].	118
Tabella A.7 - Australian RSA checklist <i>a</i> , [70].	118
Tabella A.8 - Australian RSA checklist <i>b</i> , [70].	119
Tabella A.9 - Australian RSA checklist <i>c</i> , [70].	119

Tabella A.10 - Australian RSA checklist <i>d</i> , [70].	119
Tabella A.11 - Estratto 1 Check list Neozelandese, [71].	120
Tabella A.12 - Estratto 2 Check list Neozelandese, [71].	121
Tabella A.13 - Estratto 3 Check list Neozelandese, [71].	122
Tabella A.14 - Master check list - all stages 1/2, [72].	123
Tabella A.15 - Master check list - all stages 2/2, [72].	124
Tabella A.16 - Detailed Design, General Topics, [72].	125
Tabella A.17 - Design Issues, [72].	126
Tabella A.18 - Alignment Details, [72].	127
Tabella A.19 - Physical Objects, [72].	128
Tabella A.20 - Check list pre apertura strada, [59].	129
Tabella A.21 - Check list progetto preliminare, [59].	130
Tabella A.22 - Check list progetto definitivo, [59].	131
Tabella A.23 - Check list progetto esecutivo, [59].	132
Tabella A.24 - Check list strade esistenti, [59].	133
Tabella A.25 - Road segments inspection module, [53].	134
Tabella A.26 - Intersections Inspection Module, [53].	135

Capitolo I

-

I NUMERI DELLA SICUREZZA STRADALE.

I.1 - Traffico veicolare e sistema di trasporto

Il continuo aumento nel tempo delle esigenze di spostamento ha determinato un esponenziale incremento della domanda di trasporto, individuale e collettivo. Le infrastrutture stradali, in particolar modo, sono state coinvolte in questa evoluzione, essendo il trasporto su gomma il sistema maggiormente utilizzato per lo spostamento di persone (media europea 77%, media italiana 88%, [1]) e fortemente utilizzato per il trasporto delle merci (oltre il 40%), [2]. La distribuzione dei trasporti per le differenti modalità è descritta dalle differenti teorie di assegnazione economico-funzionale e dipende soprattutto dalla natura del sistema di trasporto. La particolare propensione dell'utenza alla modalità di trasporto su gomma, soprattutto per il trasporto passeggeri, discende dalle peculiari caratteristiche di comfort e versatilità offerte da tale sistema. In particolare, il trasporto individuale (con auto privata) presenta la percentuale preponderante nella scelta della modalità del trasporto su gomma, vedi Tabella I.1, grazie alla sua adattabilità ed alla possibilità di gestire arbitrariamente le scelte di viaggio, anche una volta che questo è stato intrapreso.

Modalità di Trasporto	2000	2010	2030
Trasporto pubblico su strada	8.9	8.7	7.3
Auto privata	77.8	76.6	74.7
Ferrovia	7.3	7.8	7.7
Aereo	5.4	6.3	9.7

Tabella I.1- Utilizzazione di quattro modalità di trasporto nell'UE-25 rapportata al trasporto totale di passeggeri calcolato in passeggeri/km.

Il trasporto individuale è scelto a discapito dell'indubbio maggior onere economico che l'utente deve sostenere per lo spostamento. La percezione di libertà delle scelte, la

possibilità di interrompere il viaggio, nonché quello di accelerarlo, giocano un ruolo fondamentale nella logica di scelta del trasporto individuale passeggeri. Anche il trasporto merci subisce lo stesso tipo di attrattiva. La possibilità di recapitare le merci direttamente nel luogo di consegna, con un numero assente (o limitato) di trasbordi, può costituire un risparmio economico che può far divenire vantaggioso scegliere questa modalità di trasporto per le merci.

A conferma di queste considerazioni, si osserva in Europa un incremento del parco auto del 300% negli ultimi 30 anni, [3], in Italia si è riscontrato un incremento coerente con la tendenza europea. Il numero delle autovetture è passato dai 24 milioni di esemplari del 1986, ai 30 milioni del 2000, fino a più di 35 milioni di auto del 2010, [4]. La ragione di questa crescita è spesso attribuibile alle carenze delle principali modalità di trasporto pubblico, che, in taluni casi, impongono il ricorso all'autovettura privata, favorito anche dalla crescita economica dei primi anni 80. Nelle aree urbane l'aumento del numero di auto, che accompagna l'espansione urbanistica nelle aree immediatamente esterne ai centri urbani, è spesso dovuto ad un mancato adeguamento dell'offerta del trasporto pubblico locale in risposta alle accresciute esigenze di mobilità, aggravato da uno sviluppo inadeguato di infrastrutture destinate al trasporto pubblico. In ambito extraurbano, la conformazione fisica del territorio nazionale gioca un ruolo fondamentale, rendendo difficoltosa l'adeguata crescita delle infrastrutture destinate al trasporto pubblico collettivo, sollecitando di fatto la domanda di mobilità privata.

I.2 - L'incidentalità stradale

L'aumento della domanda di trasporto su gomma, causato dalle preferenze dell'utenza e dall'aumento del parco auto in relazione alle tendenze discusse nel paragrafo precedente, ha portato ad un inevitabile aumento dei flussi veicolari sulle infrastrutture ed un aumento delle problematiche connesse alla circolazione dei veicoli, dal comfort alla sicurezza. In particolare, l'aumento del traffico genera delle problematiche di sicurezza aumentando il rischio di incidenti sulle infrastrutture stradali, specialmente se queste non risultano adeguate a smaltire il volume di traffico. Un ulteriore aggravio delle problematiche di sicurezza si riscontra su quelle arterie stradali che risultano altresì inadeguate allo smaltimento di volumi limitati di traffico, in cui una carente progettazione o manutenzione dell'infrastruttura costituisce la

causa principale dell'intrinseca pericolosità della strada. Le infrastrutture stradali si trovano, quindi, ad essere spesso scenari di tragici incidenti, tanto da risultare la prima causa di morte al mondo per infortunio, come illustrato in Figura I.1.

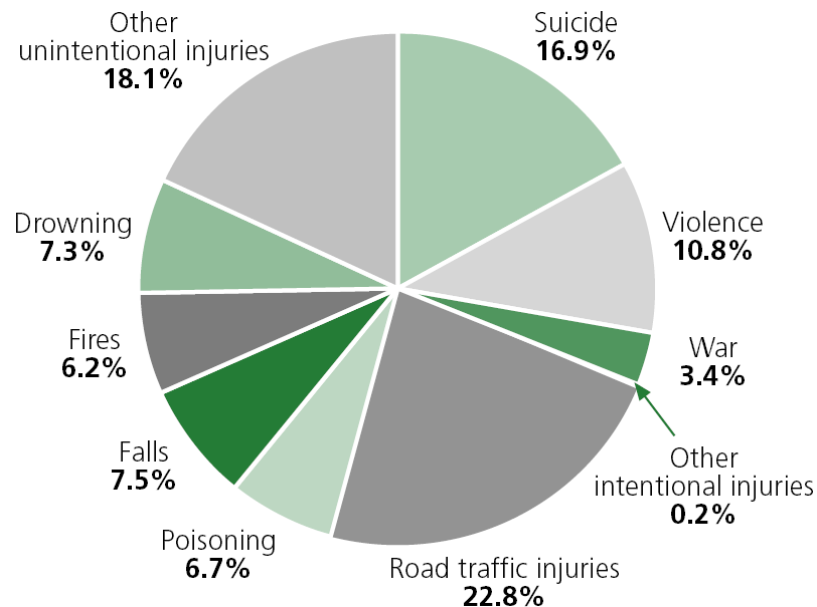


Figura I.1 - Distribuzione globale delle cause di mortalità per infortunio, [5].

Diverse ricerche condotte dall'Organizzazione Mondiale della Sanità, [5], [6], hanno infatti evidenziato la gravità di tale problematica, individuando le più importanti cause di incidenti stradali e definendo delle correlazioni statistiche tra queste ed il numero di incidenti. In particolar modo si evidenzia un certo grado di tolleranza nei confronti di questa incidentalità. L'utente stradale medio, come la stessa collettività, tende infatti tollerare maggiormente il numero di morti per incidenti stradali rispetto a quelli relativi ad altre modalità di trasporto. Benché il numero degli incidenti stradali fatali, e delle relative vittime, sia notevolmente maggiore di quello che si può riscontrare per il trasporto aereo, navale o su ferro, esso in generale non è percepito come un problema rilevante per la collettività. Basti pensare che secondo le stime del 2009, ogni anno i morti sulle strade sono circa 1,3 milioni e le persone che subiscono incidenti non mortali sono tra i 20 e i 50 milioni, [6]. Numeri enormi se confrontati con i decessi causati dai 14 incidenti aerei relativi allo stesso periodo, causa di 680 vittime. La grande differenza sul numero di decessi è anche da relazionare al differente numero di utenti che scelgono le differenti modalità, nonché alla differente gestione della manutenzione delle infrastrutture nei diversi casi (nel caso stradale essa è generalmente meno

rigorosa rispetto alle altre modalità di trasporto). La capillare diffusione delle autovetture, l'eterogeneità dei guidatori e l'intrinseca interferenza tra i differenti veicoli e le utenze deboli della strada, aumentano le probabilità che possa avvenire un incidente.

Questa maggiore probabilità, associata all'elevato numero di utenti, delinea per il trasporto su gomma uno scenario drammatico nonostante in questi fenomeni incidentali è coinvolto, in genere, un numero ridotto di persone.

Un'altra delle motivazioni, alla base di tale disomogenea percezione del rischio, risiede nella stessa vantaggiosa peculiare caratteristica che contraddistingue la modalità di trasporto su gomma, ossia la sua versatilità e la diretta rispondenza a quelle che sono le esigenze dell'utente. La libertà intrinseca di quest'ultimo e la percezione che esso sia parte integrante delle scelte che caratterizzano il suo itinerario, alterano la percezione oggettiva della sicurezza dello spostamento. Questo effetto è particolarmente enfatizzato in alcune fasce di età, per le quali risulta amplificata la convinzione che le capacità di guida possedute siano maggiori di quella posseduta dalla media degli utenti. I costi per la società dovuti a questo fenomeno sono elevati, vedi Figura I.2, e, insieme alle problematiche umane che ne derivano, devono incentivare l'applicazione delle politiche europee di mitigazione del numero e della gravità degli incidenti stradali.

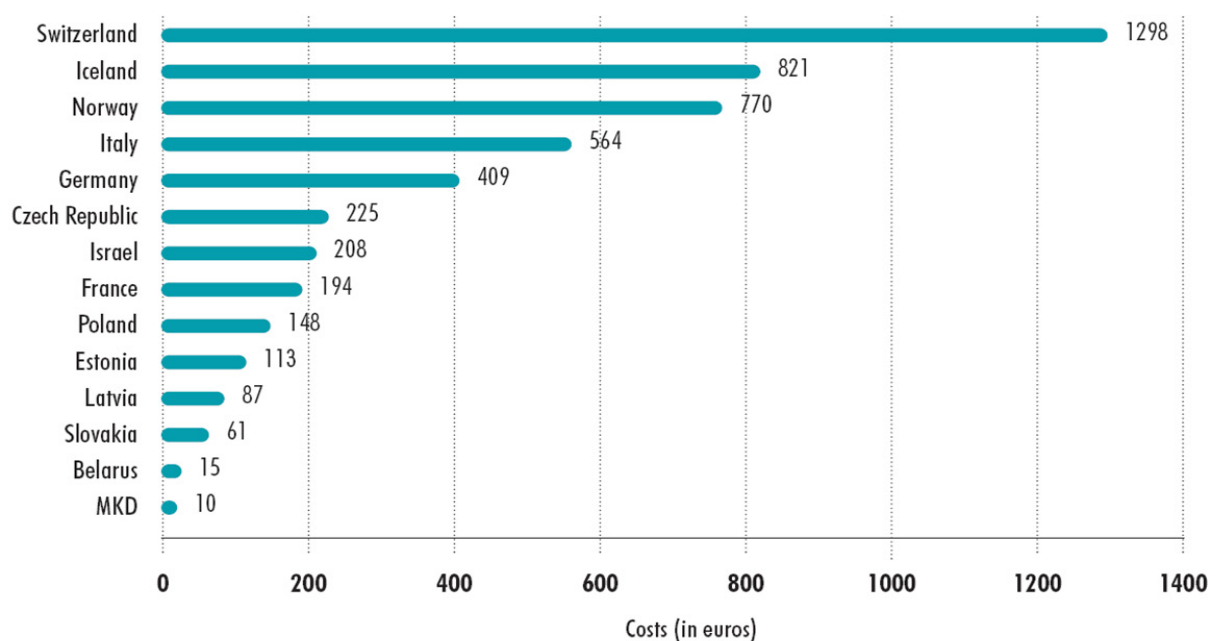


Figura I.2 - Costi per abitante dovuti ad incidenti stradali, mortali e non, aggiornati al 2008, [6].

1.2.1 - Concetto di tasso incidentale.

Al fine di rendere comparabili i valori incidentati tra diversi contesti di studio, è necessario introdurre il concetto di tasso incidentale. Dal numero di eventi incidentali (o di vittime/feriti) si perviene al tasso incidentale dal rapporto tra il numero di eventi registrati e ed il numero totale di elementi della popolazione statistica in cui è avvenuto l'evento. Questa grandezza permette di effettuare confronti quantitativi anche in presenza di campioni statistici di popolazione quantitativamente differenti. Così il numero di incidenti registrato su differenti reti stradali non può essere confrontato numericamente se non si utilizza un indice che consideri la differente estensione della rete o il differente traffico giornaliero medio che la interessa. Allo stesso modo anche il confronto del numero di morti che si hanno su diverse infrastrutture fornisce delle informazioni falsate se non si rapporta questo numero alla totalità degli incidenti avuti, o al numero di veicoli circolanti sull'infrastruttura. Ad esempio il tasso di mortalità è stato relazionato al Prodotto Interno lordo: paesi con PIL elevato presentano tassi inferiori a quelli di paesi meno ricchi, [6], sintomo di un differente grado di attenzione destinato al tema della sicurezza (vedi Figura I.3).

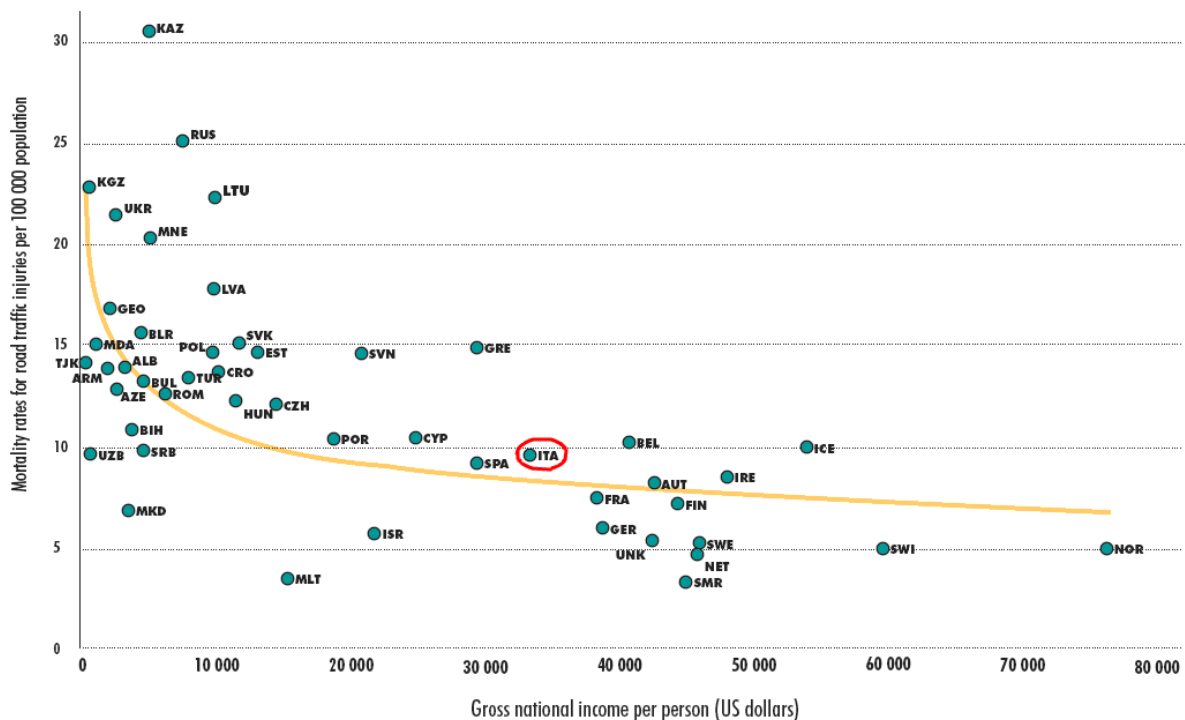


Figura I.3 - Rapporto tra tasso di mortalità degli incidenti stradali e Prodotto Interno Lordo, [6]

I.3 - L'incidentalità stradale in Italia

I numeri che caratterizzano l'incidentalità in Italia non sono incoraggianti. La rete stradale Italiana si è adeguata meno prontamente (rispetto alla media Europea) all'aumento di domanda di trasporto ed il numero degli incidenti stradali risulta ancora particolarmente elevato. Nel 2008, il numero totale di morti a causa di incidenti stradali è stato il più alto tra i Paesi membri dell'U.E., [7], raggiungendo le 4731 persone, il 12% del totale Europeo (a fronte di una popolazione del 7.52% di quella europea). Nonostante questo esso sia ancora elevato, si riscontrano riduzioni del numero assoluto degli incidenti e delle relative perdite umane. Negli ultimi 8 anni, infatti, i sinistri si sono ridotti del 14.65% mentre la mortalità è scesa dal 2.75% al 2.15%, equivalente ad una riduzione del 33% del numero di morti, [7], come rappresentato graficamente nella Figura I.4 e nella Figura I.5.

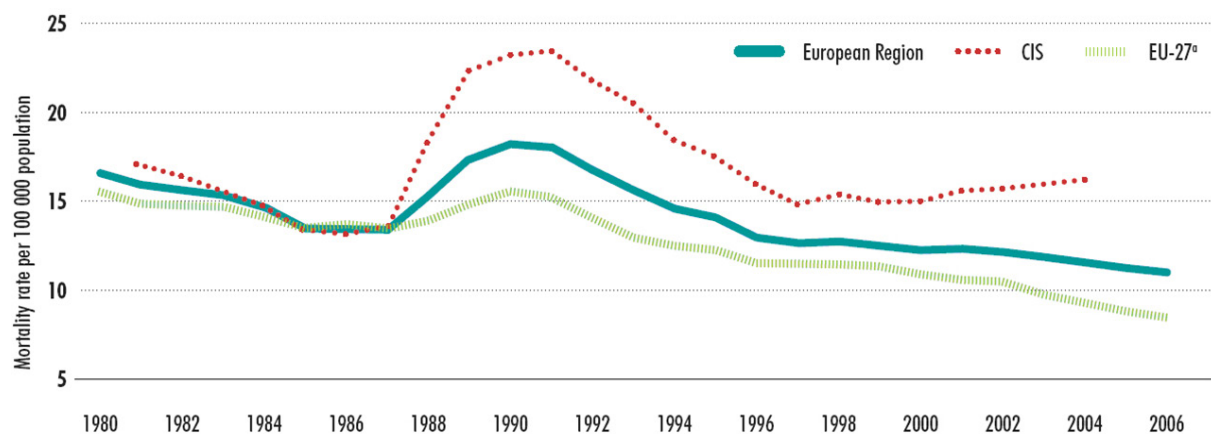


Figura I.4 - Tasso di mortalità per incidenti stradali per i 27 Stati UE e la Comunità Stati Indipendenti, [6].

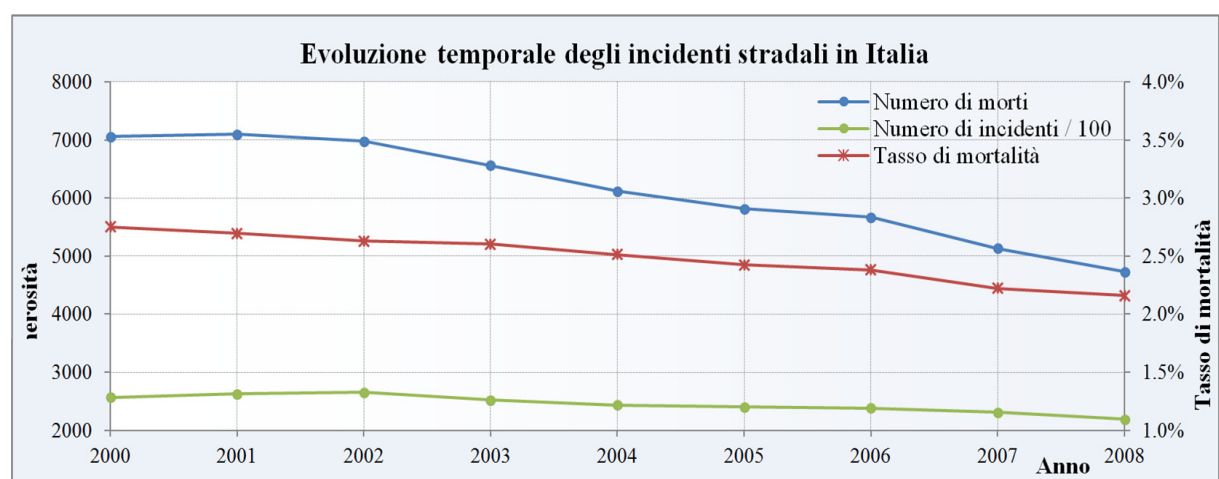


Figura I.5 - Tasso di mortalità per incidenti stradali in Italia, [7].

Dall'analisi dettagliata degli aspetti relativi agli eventi incidentali, è possibile trarre delle indicazioni in merito ai fattori determinanti l'incidentalità. L'analisi deve considerare anche le interferenze tra le differenti utenze della strada: le utenze deboli sono infatti tipicamente vittima delle altre tipologie. In ambito extraurbano esse sono presenti in quantità percentualmente inferiori, rispetto agli autoveicoli e agli autocarri, ma presentano comunque una quota parte importante della mortalità stradale. Utenti quali pedoni, ciclisti e motociclisti sono spesso vittima della compresenza sull'infrastruttura con le altre utenze, subendo in caso di sinistro le conseguenze più gravi, come riassunto nella Figura I.6 e nella Figura I.7.

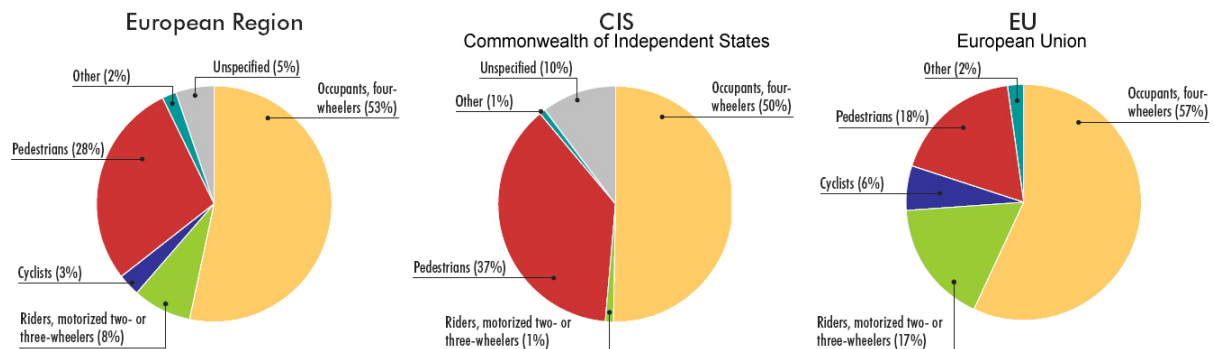


Figura I.6 - Distribuzione degli incidenti stradali mortali in Europa divisi per categoria di utente, [6].

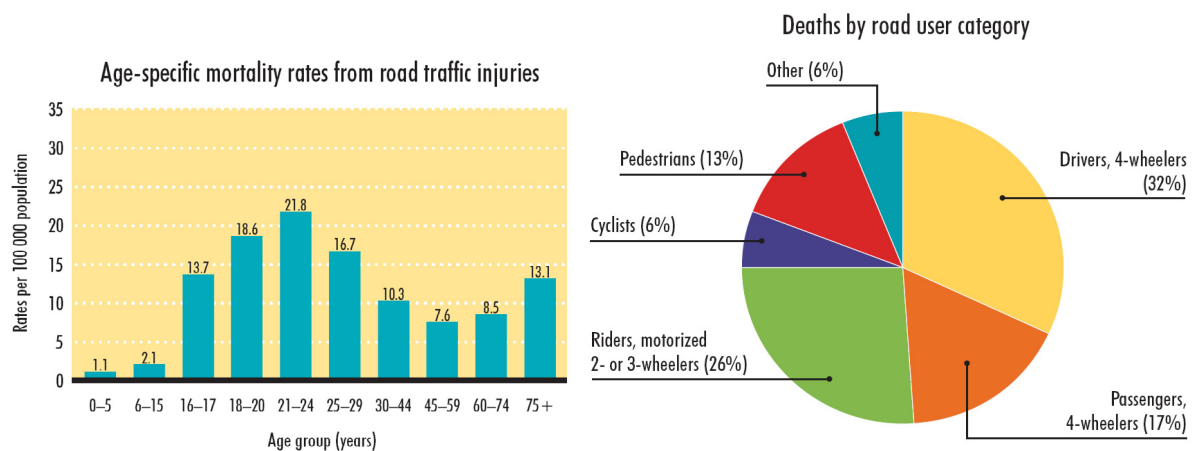


Figura I.7 - Distribuzione dei morti in funzione dell'età e della categoria di utente stradale, [6].

Ulteriore aspetto da considerare è il contesto incidentale. Nel 2008 sulle strade urbane si è verificato il 76,8% del totale di incidenti, a cui corrisponde il 73,5% del totale di feriti ed il 43,9% dei morti totali. Sulle autostrade si è verificato il 5,6% del totale di incidenti, a cui corrisponde il 6,6% del totale di feriti ed il 9,6% dei decessi totali. Queste percentuali non sono comunque esaustive per la descrizione del fenomeno incidentale nel suo complesso, al

fine di ottenere una valutazione maggiormente significativa si considereranno i relativi tassi di incidentalità, vedi Tabella I.2.

Ambito stradale	Incidenti	Morti	Feriti	Indice di mortalità	Indice di lesività
Strade urbane	168088	2076	228325	1,2	135,8
Autostrade	12372	452	20631	3,7	166,8
Altre strade	38503	2203	61783	5,7	160,5
Totale	218963	4731	310739	2,2	141,9

Tabella I.2 - Incidentalità relativa all'ambito stradale, [7].

Sempre nel 2008 (ultimi dati disponibili), rispetto all'anno precedente si è avuta una riduzione dell'incidentalità in tutti gli ambiti stradali (-5,2%), in particolare sulla rete autostradale la diminuzione degli incidenti è stata più marcata (-9,3%). L'indice di mortalità evidenzia la particolare gravità degli incidenti che avvengono nelle strade extraurbane non autostradali per le quali l'indice di mortalità assume il valore di 5,7%, ossia oltre un incidente su 18 risulta essere mortale per almeno una persona coinvolta. Con riferimento alla rete extra urbana non autostradale il valore massimo della mortalità si riscontra in corrispondenza degli incidenti avvenuti su strade ad una carreggiata a doppio senso, con 1 morto ogni 15 incidenti, come riportato in Tabella I.3.

Tipo di strada	Incidenti	Morti	Indice di mortalità
Una carreggiata a senso unico	1917	46	2,4
Una carreggiata a doppio senso	26889	1773	6,6
Doppia carreggiata, più di due carreggiate	3522	151	4,3
Totale	32328	1970	6,1

Tabella I.3 - Incidentalità sulla rete extraurbana, escluse le autostrade, secondo il tipo di strada, [7].

Tale tipologia stradale corrisponde ad alcune delle categorie previste nel D.M. 6792/01, [8], per la costruzione delle strade, ossia la categoria C (strade extraurbane secondarie) e la categoria F (strade locali extraurbane). Tali tipologie stradali sono spesso riscontrabili negli studi internazionali sull'incidentalità con il nome *Rural Roads*. La maggior parte degli incidenti stradali avviene tra due o più veicoli (76,0%), mentre il restante 24,0% dei casi vede coinvolti veicoli isolati (vedi Tabella I.4). Nell'ambito degli incidenti tra veicoli, la tipologia più frequente è lo scontro frontale-laterale seguita dal tamponamento, in particolare il primo caratterizza l'incidentalità delle strade a singola carreggiata e doppio senso di circolazione, ossia le *Rural Roads*.

Natura dell'incidente	Valori assoluti			Valori percentuali			Indice di mortalità
	Incidenti	Morti	Feriti	Incidenti	Morti	Feriti	
Scontro frontale	14934	768	24654	6.8	16.2	7.9	5.1
Scontro frontale-laterale	77735	1213	113432	35.5	25.6	36.5	1.6
Scontro laterale	26551	248	34703	12.1	5.2	11.2	0.9
Tamponamento	40047	499	65534	18.3	10.5	21.1	1.2
Urto con veicolo fermo	7219	110	9958	3.3	2.3	3.2	1.5
Totale incidenti tra veicoli	166486	2838	248281	76.0	60.0	79.9	1.7
Investimento di pedone	18557	598	20991	8.5	12.6	6.8	3.2
Urto con veicolo in sosta	1833	40	2078	0.8	0.8	0.7	2.2
Urto con ostacolo accidentale	7621	321	9472	3.5	6.8	3	4.2
Urto con treno	5	1	6	0.0	0.0	0.0	20
Fuoriuscita	20378	881	25509	9.3	18.6	8.2	4.3
Frenata improvvisa	620	1	721	0.3	0.0	0.2	0.2
Caduta da veicolo	3463	51	3681	1.6	1.1	1.2	1.5
Totale incidenti a veicoli isolati	52477	1893	62458	24	40	20.1	3.6
TOTALE	218963	4731	310739	100	100	100	2.2

Tabella I.4 - Incidenti e persone infortunate secondo la natura, [7].

L'analisi delle circostanze accertate (o presunte) di incidente annovera tra le prime cause la guida distratta e la velocità troppo elevata. Entrambi questi fattori possono essere mitigati da una corretta progettazione geometrica della strada, come si argomenterà in seguito. La geometria stradale, infatti, deve essere progettata considerando, oltre che l'inserimento territoriale dell'infrastruttura e l'ottimizzazione dei costi, anche le percezioni che l'utente ha durante la percorrenza di questa. Altri aspetti scatenanti l'incidentalità, quali lo stato psico-fisico alterato del conducente, il mancato rispetto delle regole di precedenza o semaforiche non sono rimediabili tramite interventi progettuali ingegneristici, ma rispondono a fenomeni sociali (educazione, informazione, etc.) e di controllo che le autorità dovrebbero attuare a tutela della società. Difetti o avarie del veicolo influiscono, invece, soltanto nello 0,4% dei casi totali.

I.4 - Fattori incidentali

Esaminando i dati statistici riassunti nei paragrafi precedenti, si possono individuare tre aspetti principali che concorrono all'instaurarsi di condizioni tali da determinare un incidente stradale. Questi aspetti sono relativi alle tre componenti che costituiscono il sistema di trasporto: il *guidatore*, il *veicolo* e la *strada*, nonché all'*ambiente* in cui l'infrastruttura è inserita. Ricerche internazionali hanno dimostrato che oltre il 65% degli incidenti stradali

dipende esclusivamente dal comportamento errato dell'utente stradale, indicato spesso come "fattore umano" del precedente trinomio. Il restante 35% è suddiviso tra veicolo ($\approx 1\%$), infrastruttura ($\approx 4\%$) e l'effetto congiunto dei contributi dei tre elementi, che diventano concausa l'uno dell'altro.

I parametri che incidono sull'incidentalità, relativi ai tre fattori appena descritti, sono espressi di seguito (Tabella I.5, Tabella I.6 e Tabella I.7), insieme ad alcune strategie di esempio attuate recentemente in alcuni paesi Europei.

Utente stradale	
Cause	Strategie attuate, [6].
<ul style="list-style-type: none">• Abilità di guida;• Comportamento alla guida;• Condizioni psico-fisiche;• Esperienza;• Età.	<ul style="list-style-type: none">• Incrementare l'uso di caschi per motociclisti;• Campagne di sensibilizzazione contro alcol e droghe;• Imporre il rispetto dei limiti di velocità;• Educazione stradale efficace e formazione avanzata dei conducenti;• Imporre il mantenimento della distanza di sicurezza;• Utilizzo di luci di posizione diurne;• Educazione stradale nelle scuole per bambini e adolescenti;• Limitare l'uso di sistemi di intrattenimento in situazioni di guida;• Limitare l'uso di dispositivi di comunicazione portatili.

Tabella I.5 - Cause di incidentalità - Utente stradale.

Infrastruttura	
Cause	Strategie attuate, [6].
<ul style="list-style-type: none">• Caratteristiche piano altimetriche;• Sezione trasversale;• Presenza di sistemi di ritenuta;• Mancanza di visibilità;• Flussi di traffico elevati;• Carenza nella manutenzione dei margini laterali;• Condizioni di scarsa illuminazione;• Assenza della pavimentazione segnaletica orizzontale.	<ul style="list-style-type: none">• Controlli di Safety sulle strade rurali ed urbane;• Normativa di Sicurezza nelle gallerie;• Creazione di comitati di controllo per la segnaletica;• Creazione di "zone di sicurezza" sulle strade;• Garantire che i passaggi pedonali soddisfino gli standard di sicurezza;• Fornire percorsi sicuri di approccio alle scuole;• Migliorare la visibilità nelle curve;• Introduzione strisce sonore nella linea di centro carreggiata;• Migliorare l'illuminazione stradale;• Creare punti di attraversamento sicuro per pedoni e ciclisti;• Imporre la dotazione di catene o pneumatici da neve nei periodi invernali;• Installare segnali in prossimità di sentieri utilizzati da animali;• Costruire recinti per inibire il passaggio degli animali.

Tabella I.6 - Cause di incidentalità - Infrastruttura.

Veicolo	
Cause	Strategie attuate, [6].
<ul style="list-style-type: none">• Prestazioni;• Manutenzione;• Sistemi di sicurezza a bordo del veicolo;• Caratteristiche meccaniche;• Caratteristiche fisico dinamiche.	<ul style="list-style-type: none">• Sicurezza degli autocarri;• Incrementare l'uso di sistemi di ritenuta (cinture di sicurezza);• Incrementare l'uso di sedili di sicurezza per bambini;• Migliorare la visibilità dei veicoli pesanti al buio;• Migliorare la qualità dei veicoli attraverso i controlli su strada;• Assicurare che i veicoli siano correttamente registrati, controllati e autorizzati;• Incoraggiare l'uso di tecnologie innovative.

Tabella I.7 - Cause di incidentalità - Veicolo.

Sono altresì attuate delle strategie esterne a questo trinomio di fattori, alcune di queste sono riportate di seguito nella Tabella I.8, Tabella I.9 e Tabella I.10.

Politiche di miglioramento della sicurezza stradale, [6].
<ul style="list-style-type: none">• Implementazione di un controllo più rigoroso delle norme di traffico;• Adottare ispezioni ordinarie di sicurezza stradale;• Controllo e repressione dei reati stradali;• Aumentare il rigore dell'esame della patente di guida;• Sanzionare l'uso di strumenti intrattenimento durante la guida (televisori, auricolari, ...);• Controllare i regimi di riposo per i conducenti professionali e gli autotrasportatori;• Applicare le norme di sicurezza per le auto parcheggiate;• Aumentare i controlli su strada dei veicoli pesanti;• Le politiche di sviluppo per frenare la crescita della distanza percorsa dai veicoli privati; <p>...</p>

Tabella I.8 - Politiche di miglioramento della sicurezza stradale.

Politiche di attenuazione degli effetti incidentali, [6].
<ul style="list-style-type: none">• Formazione di primo soccorso per i conducenti;• Promuovere l'uso della telematica su strada;• Migliorare l'efficienza dei servizi di assistenza di emergenza;• Creazione di gruppi di analisi degli incidenti.

Tabella I.9 - Politiche di attenuazione degli effetti incidentali.

Studi di ricerca finalizzata alla prevenzione degli incidenti, [6].
<ul style="list-style-type: none">• Analisi degli incidenti della rete stradale;• Realizzazione di studi scientifici dedicati istituendo un organo di coordinamento per la sicurezza stradale;• Realizzazione di studi per valutare l'impatto dei trasporti sulla salute attraverso il monitoraggio dei volumi traffico, qualità ambientale e vicinanza alle aree urbane.

Tabella I.10 - Studi di ricerca finalizzata alla prevenzione degli incidenti.

Non tutti i sistemi e le strategie precedentemente esposte hanno la stessa efficacia una volta poste in essere. Come capita spesso, le soluzioni più efficaci sono quelle che

comportano un maggior onere economico. Nei capitoli che seguono si approfondiranno le soluzioni che sono alla portata dell'ingegneria civile, analizzando nel dettaglio i differenti filoni di ricerca che affrontano il problema da differenti punti di vista.

I.5 - Il white paper

Il 12 settembre 2001 il parlamento europeo ha pubblicato un documento contenente i tratti generali della politica europea dei trasporti fino al 2010. Il Libro Bianco, [1], precisa una sessantina di indicazioni da attuare a livello europeo nella politica dei trasporti. In esso è altresì contenuto un programma d'azione con delle scadenze precise fino al 2010, anno in cui si propone il raggiungimento dell'obiettivo principale, ossia una riduzione minima del numero delle morti sulle strade pari al 50%. Per verificare il rispetto delle scadenze in questione è previsto un sistema di controllo che periodicamente valuta il raggiungimento degli obiettivi quantitativi prefissati da parte dei differenti stati.

Alcune delle proposte contenute nel *Libro Bianco* che puntano alla riduzione degli incidenti, in maniera diretta o indiretta, sono: migliorare la qualità del trasporto su strada, rafforzare la sicurezza stradale, realizzare la rete transeuropea dei trasporti, decidere un'efficace politica di tariffazione dei trasporti, rilanciare le ferrovie, promuovere i trasporti marittimi e fluviali, conciliare la crescita del trasporto aereo con l'ambiente, fare dell'intermodalità una realtà, ect. Alcune di queste strategie sono volutamente generiche e poco specifiche, essendo richiesto solamente il raggiungimento di uno specifico target quantitativo. È infatti compito di ciascun paese adottare dei Piani Nazionali che orientino e coordinino gli investimenti nella sicurezza stradale come recepimento di tale direttiva. Lo scopo è quello di far redigere dei regolamenti attuativi adeguati alle caratteristiche territoriali e comportamentali dello specifico contesto nazionale di applicazione.

Dal 1990 al 2005 l'Italia ha registrato una delle più esigue riduzioni di mortalità tra tutti i paesi europei, circa la metà della riduzione media dell'UE15. Questa circostanza ha determinato l'arretramento della posizione del nostro Paese nella graduatoria della sicurezza dell'UE (dalla 5° posizione del 1990 alla 9° del 2003). Con legge 144 del 14/7/1999 il Ministro dei Lavori Pubblici istituì il Piano Nazionale per la Sicurezza Stradale (PNSS) e per favorirne l'elaborazione, il 29 marzo 2000 sono stati adottati, gli *Indirizzi generali* e *Linee guida di attuazione* del Piano Nazionale della Sicurezza Stradale.

I.6 - Il Piano Nazionale per la Sicurezza Stradale

I contenuti operativi del *PNSS*, secondo gli Indirizzi generali e linee guida di attuazione, si basano sulla sistematicità dell'azione di contrasto ai fattori di rischio e alla definizione di un compendio di parametri che consenta di misurare con adeguata precisione le prestazioni di sicurezza erogate da ciascun componente del sistema della mobilità e dal sistema nel suo complesso, anche valutando l'influenza determinata dalle condizioni ambientali al contorno. Il Piano è finalizzato a creare le condizioni per una mobilità sicura e sostenibile, in linea con le indicazioni per la sicurezza stradale definite dalla Commissione Europea [9]. Il Piano inoltre mira a sviluppare e diffondere una nuova cultura della sicurezza stradale, che raggiunga i singoli cittadini, i tecnici ed i decisori. Individuando alcune linee di azione specifiche come il controllo della sicurezza intrinseca delle infrastrutture, il rafforzamento dell'azione di prevenzione e dell'azione sanitaria, il miglioramento delle regole e dei controlli su veicoli e conducenti, il miglioramento della organizzazione del traffico e della rete infrastrutturale tramite la predisposizione di nuovi strumenti di pianificazione del traffico e lo sviluppo dell'informazione agli utenti e delle campagne di sensibilizzazione.

Alcune di queste finalità, in particolar modo la verifica dei requisiti di sicurezza intrinseci delle infrastrutture viarie, saranno approfondite nei capitoli seguenti tramite un'analisi critica dei differenti approcci scientifici su cui si basano le filosofie di indagine della sicurezza stradale maggiormente diffuse nel quadro della ricerca internazionale.

Capitolo II

-

LE TEORIE VALUTATIVE DELLA SICUREZZA DELLE INFRASTRUTTURE STRADALI

II.1 - Premessa

La valutazione della sicurezza delle infrastrutture non può che considerare anche la componente più aleatoria del trinomio *uomo-veicolo-strada*, ossia il comportamento umano. Come esposto nel capitolo precedente, la maggior parte degli incidenti stradali dipende esclusivamente dal comportamento errato dell'utente stradale in risposta agli stimoli che gli provengono dall'ambiente stradale in cui è inserita l'infrastruttura. Il "fattore umano" del *Sistema Stradale* (definito da *Uomo, Veicolo, Strada* ed *Ambiente*) è la componente più difficile da studiare e comprendere, ed è la componente su cui devono essere tarate le altre affinché siano tra loro armoniche al fine di massimizzi la sicurezza intrinseca della infrastruttura.

Nei paragrafi seguenti saranno esposti i principali approcci utilizzati nella ricerca internazionale per la valutazione della sicurezza stradale. Saranno esposti i concetti base della *Risk Homeostasis Theory* che permette di valutare, dal punto di vista qualitativo, la risposta dell'utente agli stimoli ambientali, in relazione alla sua percezione di rischio ed alla schematizzazione del profilo comportamentale in funzione del rischio obiettivo che esso cerca di perseguire. La stessa teoria permette di comprendere le modifiche nel tempo della risposta dell'utente in relazione al suo adattamento alle condizioni dell'infrastruttura. Saranno altresì esposti i concetti ed i differenti approcci di valutazione della sicurezza offerti dal filone di ricerca sulla *Design Consistency*. Tale teoria si propone di valutare la consistenza di un progetto stradale, valutando la coerenza di questo alle condizioni operative e alla risposta che l'utente ha in esercizio. La valutazione delle velocità che l'utente adotta e l'osservazione delle reazioni che esso ha durante la guida costituiscono importanti parametri di valutazione delle condizioni di sicurezza per definire eventuali modifiche da apportare al Sistema Stradale al

fine di migliorare la sua sicurezza intrinseca. In fine saranno espone le procedure di analisi della sicurezza stradale per tracciati in fase di progetto, *Road Safety Audit*, ed in fase di esercizio, *Road Safety Review*, tramite la formalizzazione delle procedure di monitoraggio, dei gruppi di indagine e delle liste di controllo delle caratteristiche del *Sistema Stradale* necessarie a completare l'analisi di sicurezza.

La valutazione complessiva dei tratti principali di tali teorie saranno la base per la valutazione del tracciato proposta nel Capitolo III.

II.2 - Risk Homeostasis Theory

II.2.1 - Premessa

Le teorie che si propongono di interpretare il comportamento dell'utente stradale studiano il concetto di rischio sin dal 1970. Il rischio fu proposto come la variabile di maggior controllo del comportamento degli utenti alla guida, [10], risulta quindi importante distinguere il principio in sé dai meccanismi che lo generano.

Il rischio relativo al comportamento dell'utente deve essere considerato a differenti livelli gerarchici, ciascuno con differenti meccanismi di compensazione. Considerando due soli livelli di gerarchia percettiva, si può considerare un livello più generale (di *alto livello*) ed uno più specifico (di *basso livello*). Nel primo caso la percezione del rischio interessa l'intera società allo stesso modo, e influisce sul comportamento del singolo utente stradale con differente intensità a seconda della sua specifica sensibilità, determinando le scelte che questo compie nella scelta e nell'esecuzione dell'itinerario. Al livello più specifico, invece, hanno influenza diretta, sulla percezione del rischio da parte del guidatore, il controllo del veicolo durante la guida e le reali condizioni di traffico. In particolar modo questi due livelli di analisi del problema possono essere riferiti alle condizioni *pre-guida* e condizioni *guida in corso*. Nel primo caso sono i fattori sociali, le informazioni dei mass media e le caratteristiche dell'utenza nel suo insieme a determinare il livello di rischio percepito dal guidatore. Nel caso della *guida in corso* ad essere maggiormente determinanti, e ad intervenire sulla percezione di sicurezza alla guida del conducente, sono gli aspetti e le caratteristiche dell'infrastruttura, del veicolo e dell'utente stesso. La definizione della *omeostasi* si focalizza soprattutto sulla percezione del rischio di basso livello, ossia nella specifica contestualità della guida, lasciando lo studio della percezione di basso livello alle branche della scienza maggiormente

affini al settore socio-psicologico.

II.2.2 - Ipotesi base ed applicazione della teoria al contesto stradale

Un individuo alla guida di un veicolo tende a modificare il proprio comportamento in risposta alla mutazione delle caratteristiche che definiscono l'ambiente che lo circonda. Questo principio di adattamento comportamentale, definito come *compensazione del rischio*, è uno degli aspetti principali nelle ricerche in corso sul comportamento dell'utente stradale. I concetti di *compensazione del rischio* e di *rischio omeostatico* sono spesso utilizzati per descrivere o per spiegare la tendenza dei guidatori a reagire ai cambiamenti delle condizioni di guida dipendenti dal veicolo, dalla variabile tempo o da altro tipo di fattori. L'ipotesi sulla quale si fonda tale teoria si basa sul concetto che spesso le decisioni dei guidatori dipendono dal livello di abilità e di automatismo che essi hanno nella guida, i conducenti quindi spesso compiono delle scelte durante il viaggio in modo abituale ed automatico, senza che vi siano delle scelte cosce e ragionate. Le scelte che il conducente effettua durante il viaggio rispondono sì agli obiettivi che l'utente cerca di ottimizzare (tempo e velocità del viaggio) ma dipendono anche dalla percezione del rischio riguardo le condizioni che si creano alla guida. Alcuni autori, [10] [11] [12] [14], definiscono un livello di rischio perseguito (*target*) che l'utente alla guida confronta continuamente con il proprio livello di rischio percepito. Da questo continuo confronto il guidatore effettua le proprie scelte, modificando il proprio comportamento affinché si ristabilisca l'uguaglianza tra rischio atteso e rischio percepito facendo così coincidere, entro dei margini di accettazione, i due livelli di rischio. Il processo descritto è indicato in letteratura come *Rischio obiettivo* o *Monitoraggio della paura* [10].

Tale approccio presuppone che l'utente tende a esaurire, vanificandolo, l'aumento di sicurezza ottenuto mediante interventi sul veicolo o sull'infrastruttura, mettendo in atto azioni più pericolose, spesso connesse ad un aumento della velocità. Risulta quindi evidente che un aumento della sicurezza intrinseca non sia necessario al fine di ridurre la pericolosità di una strada, basterebbe infatti aumentare la percezione di rischio che l'utente avverte durante il viaggio. Al fine di verificare tali teorie sono state attuate, negli Stati Uniti, alcune procedure di prevenzione agli incidenti basate su tre differenti approcci [14]:

- educare le persone al riconoscimento della gravità del rischio e indurre dei cambiamenti nel loro comportamento (percezione di *alto livello*);

- imporre variazioni comportamentali mediante l'imposizione di regole amministrative o leggi (percezione di *alto livello*);
- indurre una protezione oggettiva dell'utenza tramite prodotti protettivi o tramite il progetto dell'infrastruttura nel suo insieme (percezione di *basso livello*).

Dalle osservazioni delle reazioni dell'utenza alla messa in opera delle precedenti strategie, risulta che la terza strategia è la più incisiva ed efficace mentre le altre lo sono meno, specialmente la prima. Tali strategie implicitamente assumono che le persone reagiscano spontaneamente alle strategie di sicurezza adottate senza che intenzionalmente tentino di ridurre o eliminare questo effetto, anche se spontaneamente potrebbero reagire in questo modo. La modifica comportamentale attuata in risposta alle misure di sicurezza è stata definita negli anni in differenti modi. In senso generale con il termine *adattamento comportamentale* ci si riferisce a tutte le modifiche comportamentali scaturite da una variazione del rischio percepito, mentre con il termine *compensazione del rischio* più limitatamente alle sole variazioni comportamentali dovute all'applicazione di leggi e regolamenti. A volte, tuttavia, tale distinzione diviene di difficile realizzazione.

Le variazioni del comportamento sono attuate da ciascun individuo in risposta ad una variazione delle condizioni di rischio percepito: aumentano le precauzioni se aumenta il livello del rischio percepito, mentre esse diminuiscono se questo tende a diminuire. Ad esempio, nel caso estremo di condizioni meteorologiche avverse e avviso di strada ghiacciata, la percezione del rischio di perdere il controllo della vettura induce delle precauzioni e delle modifiche comportamentali anche in assenza di reale pericolo o necessità. Non tutte le variazioni del contesto provocano, però, una variazione del rischio percepito. Il dibattito scientifico sull'*adattamento comportamentale* riguarda, appunto, la determinazione di quali variazioni del rischio provocano delle modifiche di comportamento di compensazione, soprattutto perché risulta difficile disaccoppiare le conseguenze sulle condizioni di guida dovute ai singoli contributi e valutare singolarmente gli effetti di ciascuna causa.

Le tre principali interpretazioni delle risposte dell'utenza alla variazione del comportamento sono riassunte in due filoni di ricerca separati.

II.2.2.1 - Compensazione del rischio ed economia: valutazioni di Peltzman sugli standard di sicurezza dei veicoli.

Applicando delle teorie proprie dell'economia, Peltzman considera la sicurezza come

un bene economico che sottostà alle leggi fondamentali dello scambio economico. Questa assunzione idealizza il comportamento dell'utente stradale, considera infatti che se un utente ha per sé un bene in una quantità maggiore di quanto gli necessiti, esso tenderà a scambiare questo bene con qualcosa che egli desidera. Nella fattispecie, il bene è la stessa percezione del rischio. Se egli percepisce un livello di sicurezza maggiore di quello che egli reputa soddisfacente, tenderà a portare tale livello a quello accettato in cambio di altro (riduzione dei tempi, distrazione, etc). L'utente, quindi, guiderà più velocemente nel caso di riduzione del rischio percepito, mentre procederà più lentamente se il rischio percepito è minore: in poche parole è effettuato uno scambio "economico" di sicurezza con intensità di guida. Secondo tale teoria si può addirittura affermare che alcune modifiche (o regolamentazioni) possono risultare controproducenti e deleterie per la sicurezza se il livello di rischio percepito è minore di quello effettivo, si causerebbe infatti un'alterazione del comportamento tale da provocare una diminuzione delle condizioni di sicurezza.

II.2.2.2 - Compensazione del rischio e psicologia: Wilde Risk Homeostasis Theory.

La teoria dell'omeostasi riguarda la componente psicologica della compensazione del rischio. Essa sancisce la necessità di percezione del rischio da parte dell'utenza, oltre che l'inevitabilità di tale percezione. Wilde ipotizza che se il rischio percepito è minore di un determinato livello di rischio prescelto, l'utente tende a modificare il proprio comportamento affinché il livello *in corso* raggiunga quello *obiettivo*, aumentando o diminuendo la pericolosità del viaggio (e delle proprie azioni) in relazione a rischi minori o maggiori di quello *obiettivo*: tali operazioni sono effettuate da ciascun individuo in modo inconscio. Il fenomeno è paragonato al bilancio termostatico di un ambiente in cui il rischio percepito è associato alla temperatura e le variazioni di comportamento dell'utente sono gli apporti di calore finalizzati al raggiungimento di un particolare stato termico, ossia le operazioni di riscaldamento e raffreddamento.

Per aumentare la sicurezza stradale, dunque, si potrebbero ipotizzare due differenti tipologie di intervento: ridurre la gravità delle conseguenze connesse ad un comportamento rischioso o aumentare, nella percezione dell'utente, la gravità delle conseguenze incidentali di un comportamento rischioso. La continua percezione del rischio da parte dell'utente e la continua comparazione del livello di rischio lo indurrebbe a modificare il proprio comportamento riducendo il rischio oggettivo della guida. La modifica comportamentale può

essere, quindi, indotta sia modificando il livello di rischio percepito dal guidatore sia agendo sul suo livello di rischio *obiettivo*.

C'è da osservare, comunque, che tali variazioni comportamentali non sono immediate, ma sono sfasate nel tempo. Interessante è l'analogia con le condizioni di funzionamento di un termostato regolatore in un ambiente. Gli aggiustamenti di temperatura che si ottengono sono sfasati rispetto alle azioni che li determinano ed il raggiungimento della condizioni di equilibrio è possibile solo dopo diverse oscillazioni intorno alle condizioni obiettivo. Risulta evidente che l'azione vincente per aumentare la sicurezza è quella di ottenere un minore livello di rischio *target* proprio dell'utenza stradale, aumentandone la percezione del rischio al fine di indurre una riduzione di velocità, un aumento dell'attenzione alla guida o altro tipo di effetto positivo benefico. Sono altresì da evitare locali innalzamenti del rischio accettato, dovuti a perdurate carenze strutturali che determinino assuefazione alle condizioni di marcia ed eccesso di sicurezza nella scelta delle manovre e della velocità di percorrenza.

È necessario però considerare anche un secondo fenomeno che si aggiunge alla tendenza dell'utente di eguagliare il rischio *percepito* e quello *obiettivo*, ossia la variazione della percezione del rischio nello spazio e nel tempo. A causa di fenomeni di assuefazione, l'efficacia degli interventi migliorativi attuati su una infrastruttura stradale diminuisce, diminuendo la percezione del rischio lungo lo sviluppo della strada. Di altro tipo è l'assuefazione che caratterizza l'utenza abituale, la quale, percorrendo ripetutamente una strada, con il tempo tende a stabilizzare il proprio comportamento a dei profili che possono prescindere dagli interventi migliorativi attuati.

Un esempio di questo tipo di adattamento è quello relativo all'aumento di velocità (dovuto ad una diminuzione del rischio percepito) causato dall'installazione degli airbag sui veicoli e dal conseguente aumento di aggressività alla guida degli utenti. Stesso tipo di adattamento si è ottenuto a valle della diffusione degli impianti ABS. L'introduzione di questi dispositivi di sicurezza non ha in realtà introdotto degli aumenti stabili di sicurezza percepita, ma solamente temporanei e relativi al solo processo di stabilizzazione. In questi casi, però, anche dopo l'esaurimento del fenomeno di assuefazione, permangono delle condizioni di maggior sicurezza oggettiva, come esposto nel paragrafo seguente.

Interventi molto marcati permettono di mitigare gli effetti di assuefazione, garantendo, anche al termine del fenomeno di riadattamento della percezione dell'utente, la compatibilità

con il livello di sicurezza di progetto.

II.2.3 - Teorie confutative

Le principali contestazioni, [13], alla teoria della *RHT* sono inerenti alle affermazioni riguardanti il campo di sviluppo e di validazione della teoria. Le critiche fondamentali riguardano la generalizzazione di un modello comportamentale che non ha una storia di validazione che ne confermi la dichiarata universalità. Alcuni dei comportamenti descritti nella *RHT* sono, di fatto, solo delle ipotesi comportamentali e non delle vere osservazioni sperimentali relative ad un reale comportamento dell'utenza stradale. Alcuni dati incidentali, inoltre, confermano che apporti alla sicurezza intrinseca delle autovetture (tramite l'installazione di cinture di sicurezza e di impianti frenanti anti bloccaggio) hanno realmente ridotto il numero di decessi anche senza una importante riduzione dell'incidentalità. Sono stati altresì monitorati tratti di strada interessati da interventi finalizzati ad un aumento della sicurezza, riscontrando una incidentalità costante (o in lieve calo). Non vi sarebbe quindi l'aumento di incidentalità previsto dall'aumento di confidenza (ed azzardo) indotto all'utenza alla guida da un aumento della sicurezza percepita.

La principale contestazione a tale teoria è quindi la mancanza di evidenze che la confermino, mentre esistono numerose evidenze che la confutano. Manca inoltre la possibilità di predire un'*ipotesi nulla*, non esiste infatti possibilità di definire obiettivamente una condizione reale che costituisca un valore atteso per la teoria, rendendo di fatto impossibile asserire che questa sia validabile [15].

II.2.4 - Conclusioni

Riuscire a determinare la correlazione tra le grandezze modificate e le variazioni comportamentali indotte nell'utenza è uno dei maggiori risultati ottenibili nell'ambito della progettazione stradale. Non esistono delle condizioni tali da poter prevedere, modellare e correlare in modo assoluto le influenze dei parametri che intervengono nella valutazione delle modifiche comportamentali e che determinano specifiche alterazioni alle condizioni ordinarie di guida. Risulta infatti impossibile attualmente effettuare delle misure quantitative del fenomeno, soprattutto perché non sono noti tutti i parametri che andrebbero monitorati ed alcuni di questi non possono essere misurati e quantificati in senso assoluto. Le alterazioni comportamentali inoltre non sono sempre riconducibili a delle modificazioni note, è il

complesso di relazioni tra strada ed utente che definisce il rischio da questi percepito. Sarebbe irrealistico pensare che le persone non modifichino il loro comportamento in risposta al proprio rischio percepito, ma un approccio più operativo impone la conoscenza delle condizioni nelle quali avviene tale risposta. In tal senso l'aspetto interessante che è stato tenuto in conto, nella valutazione del comportamento dell'utente in uno specifico contesto stradale, è l'adattamento che questo attua in determinate condizioni di guida. È esperienza comune che la valutazione complessiva della propria risposta di fronte a determinate variazioni delle caratteristiche dell'infrastruttura avviene in modo graduale sia all'instaurarsi della nuova "condizione al contorno" sia al suo cessare. All'ingresso in autostrada si ha sempre una certa "difficoltà" a procedere immediatamente alla nuova, e più elevata, velocità di marcia, così come all'uscita da questa a limitarsi alla nuova, e più lenta, andatura. Altrettanto graduale è l'adattamento che si subisce nel passaggio da itinerari urbani ad extraurbani e viceversa, benché in questo passaggio la variazione di contesto è generalmente meno marcata essendo più esteso il tratto di transizione. Queste variazioni di velocità, che esprimono dei fenomeni transitori di adattamento tra due contesti stradali differenti, sono monitorabili e modellabili. Esse rientrano nella valutazione complessiva delle relazioni tra le caratteristiche geometriche (e funzionali) dell'infrastruttura e la risposta più evidente offerta dall'utenza stradale, ossia la velocità di percorrenza. Questo specifico tema, nelle sue condizioni di regime, sarà affrontato nel capitolo seguente; i temi appena trattati permettono tuttavia di avere una visione più ampia su quelle che sono le condizioni transitorie che conducono alle velocità di regime adottate dagli utenti sugli elementi geometrici meno vincolanti, permettendo di effettuare delle valutazioni sulle modalità con cui l'utente raggiunge le condizioni di stazionarietà della velocità.

II.3 - Design Consistency

II.3.1 - Premessa

Il trinomio “*Strada-Veicolo-Guidatore*”, citato nel capitolo precedente, costituisce, nella sua interazione con l’ambiente in cui è inserita l’infrastruttura, il *Sistema Stradale*. Di tale sistema stradale devono essere considerati diversi aspetti dai problemi connessi all’impatto ambientale agli aspetti prettamente operativi. Nell’ambito dell’ingegneria stradale, assume particolare rilevanza il modo in cui le caratteristiche della strada, e dell’ambiente in cui essa è inserita, influenzano le scelte che effettua il generico individuo alla guida in quel sistema stradale. Nel capitolo precedente si sono commentate le teorie che studiano tale risposta soggettiva (e le variazioni di questa) in relazione alle azioni esterne, all’attenuazione nel tempo dell’efficacia di interventi e al concetto di percezione del rischio da parte del guidatore. La critica principale a tale approccio è stata l’impossibilità di oggettivare tali teorie tramite una valutazione quantitativa attendibile ed univocamente determinabile. Questi limiti sono parzialmente superati dalla teoria della *Design Consistency*. Tale approccio, infatti, tramite la valutazione di specifiche caratteristiche dell’infrastruttura (perlopiù geometriche) valuta quantitativamente la risposta dell’utente tramite la predizione della velocità che esso adotta in un particolare tratto dell’infrastruttura. Come si evidenzierà in seguito, il valore della velocità che si determina con i modelli predittivi di letteratura (o tramite il nuovo modello che sarà proposto in seguito) non definisce l’insieme delle velocità assunte da ciascun utente stradale, ma individua un valore rappresentativo di questo insieme tramite la definizione di una velocità convenzionale di riferimento. La successiva analisi della variazione delle velocità lungo il tracciato, permette di effettuare dei controlli di coerenza progettuale, strettamente connessi al comportamento dell’utenza tramite gli specifici modelli predittivi. La definizione di modelli previsionali rappresentativi dell’utenza stradale diviene dunque fondamentale nelle valutazioni di sicurezze effettuate tramite questo approccio.

Prima di esporre nel dettaglio i criteri di letteratura utilizzati per la valutazione della coerenza dell’infrastruttura, si riportano di seguito alcuni modelli predittivi della velocità degli utenti proposti da diversi esponenti della ricerca internazionale. Ciascuno dei seguenti questi modelli valuta diverse caratteristiche geometriche, essi saranno presentati in relazione al numero di parametri considerati.

II.3.2 - Velocità operativa

La *Velocità Operativa* rappresenta il valore della velocità che l'utente adotta su una determinata infrastruttura in condizioni ideali di esercizio, ossia in condizioni operative. Le condizioni ideali si riferiscono ai seguenti presupposti:

- *Veicolo isolato*: la marcia del veicolo avviene senza che questa sia influenzata dalla presenza di altri veicoli. Questa condizione è verificata anche in presenza di altri veicoli se questi sono distanziati di almeno 6 secondi;
- *Superficie stradale asciutta o bagnata ma pulita*: l'utente deve avere la percezione che il manto stradale sia in buone condizioni, al fine di evitare che la regolazione della velocità sia funzione di irregolarità o criticità nell'aderenza richiesta;
- *Condizioni di illuminazione diurna*: non deve esserci un'assenza di luce tale da impedire la possibilità di vedere la porzione di strada che si sta percorrendo;
- *Condizioni di visibilità ottimali*: non devono esserci impedimenti per l'utente nella possibilità di vedere la porzione di strada che ha dinnanzi a sé, ossia deve essere garantita la sufficiente *Distanza di Visuale Libera*, [8];
- *Assenza di intersezioni stradali o accessi laterali* che possano provocare riduzioni di velocità o addirittura la sosta del veicolo;
- *Assenza di interferenze visive* come vegetazione, pannelli informativi o pubblicitari che limitino la possibilità di vedere la porzione di strada che l'utente ha dinnanzi a sé;
- *Assenza di limiti di velocità* che determinino la mancata correlazione tra caratteristiche geometriche e velocità adottata dall'utente;
- *Tipologia veicolare omogenea* costituita essenzialmente da autovetture;
- *Caratteristiche altimetriche del tracciato non rilevanti*: le pendenze del tracciato devono essere tali da non provocare alterazioni della velocità spontanea dell'utente. Tale condizione si ritiene verificata se $|i| \leq 4\%$;

Le condizioni ideali appena descritte sono evidentemente irrealizzabili per la maggior parte delle infrastrutture esistenti. L'assunzione di queste condizioni è comunque necessaria affinché i modelli predittivi si riferiscano a condizioni tra loro omogenee e possano essere confrontati tra loro in relazione ad altre specifiche caratteristiche dell'infrastruttura. Infatti, la tipologia di strada, la tipologia di utente, le caratteristiche dell'ambiente in cui l'infrastruttura è inserita sono i fattori che agiscono direttamente nella predizione della velocità e nella

definizione dei parametri di calibrazione dei modelli.

La velocità operativa è differente da utente ad utente, anche se questi appartengono tutti alla medesima categoria. La predizione di ciascuna di queste velocità individuali risulta onerosa, dal punto di vista computazionale, e superflua per quel che concerne l'apporto che queste informazioni fornisco all'analista. È stata quindi definita una velocità unica per la classe omogenea di utenti riferendosi ad un valore statistico rappresentativo la V_{85} . L'AASHTO asserisce infatti che *“la velocità operativa è rappresentata dall'85^{esimo} percentile della velocità delle autovetture in libero movimento in condizioni di traffico e meteorologiche favorevoli, ovvero in condizioni di flusso libero, e di pavimentazione, anche bagnata, ma pulita”* includendo quindi, nella definizione della V_{85} , le condizioni standard di riferimento.

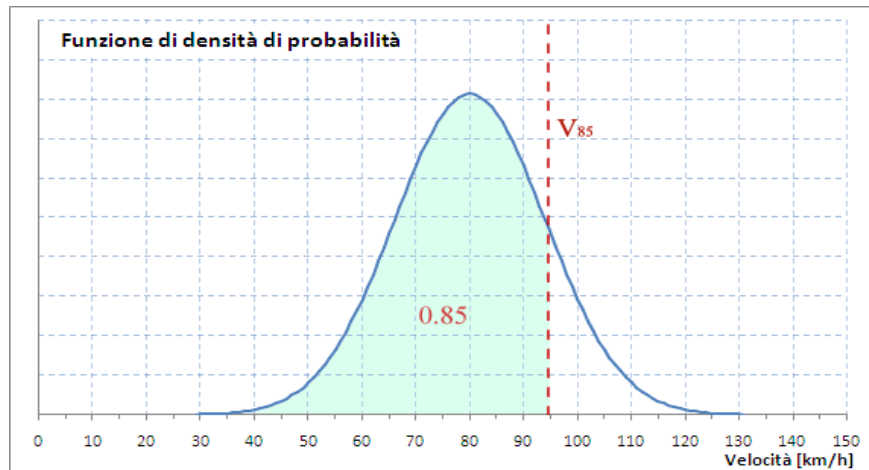


Figura II.1 - V_{85} .

La V_{85} è una delle velocità operative che può rappresentare l'infrastruttura ed è la velocità non superata dall'85% degli utenti che la percorrono.

$$\Pr(V \leq V_{85}) = F(V_{85}) = \int_0^{V_{85}} f_v(V) dV = 0.85$$

Nei paragrafi che seguono ci si riferirà alla Velocità Operativa considerando per questa la V_{85} , in particolare, nello studio dei modelli predittivi, si farà intendere per V_{85} la velocità attesa non superata dall'85% degli utenti.

II.3.3 - Modelli predittivi della V_{85}

I modelli sviluppati nell'ambito della ricerca internazionali sono molteplici e si basano sull'analisi delle frequenze delle velocità osservate. Tali modelli possono distinguersi in base

a differenti caratteristiche, in particolare:

- a - *Contesto di studio e di applicazione*: La categoria stradale ed il tipo di ambiente in cui è inserita la strada origine dei dati sperimentali di velocità definiscono univocamente il campo di validità del modello ottenuto, essendo questo calibrato per quello specifico contesto di studio;
- b - *Caratteristiche della strada utilizzate come dato di input*: I parametri di input per i modelli predittivi possono riguardare una o più caratteristiche geometriche della strada;
- c - *Formalizzazione del dato di input* in relazione alla caratteristica da analizzare: ciascuna caratteristica geometrica della strada può essere rappresentata in differenti modi e con differenti parametri di input. L'uso di parametri differenti da quelli di calibrazione del modello inficia l'attendibilità dei dati previsionali da esso ottenuti;
- d - *Espressione analitica che definisce i dati di input* e relativi parametri di calibrazione: A parità di contesto stradale, caratteristiche della strada prese in esame e parametri di input utilizzati per formalizzarle, i modelli presentano una differente formalizzazione analitica in risposta alle esigenze di regressione dei dati sperimentali sulle velocità.

Le differenti soluzioni relative ai punti b e d dell'elenco precedente saranno esposte nei sottoparagrafi a seguire. I modelli di letteratura sono principalmente riferiti a contesti stradali tipicamente extraurbani, in questi ambiti, infatti, la geometria stradale ha un'influenza maggiore che in contesti misti o prettamente urbani. In particolar modo i modelli si riferiscono perlopiù a strade extraurbane a carreggiata unica e a doppio senso di circolazione, *Rural Roads*, avvenendo su queste gli incidenti più gravi (cfr. Tabella I.3). Gli effetti dell'impatto tra due autoveicoli è influenzato dalle caratteristiche sia dell'infrastruttura che dei veicoli. I parametri che influenzano maggiormente la gravità della collisione sono sicuramente la velocità relativa tra i due veicoli e l'angolo di impatto. Nella valutazione energetica della collisione questi due parametri incidono direttamente sull'ammontare di energia cinetica che si dissipa nell'urto per deformazione dei veicoli, determinando l'entità del danno. Da queste considerazioni appare evidente che la possibilità di valutare la velocità puntuale dei veicoli lungo la strada è di notevole importanza per poter poi attuare degli interventi localizzati laddove le velocità risultano non coerenti con le aspettative progettuali o gestionali. I criteri di valutazione di queste incoerenze saranno esposti a valle della elencazione dei differenti modelli previsionali.

II.3.3.1 - Parametri di geometrici di Input

II.3.3.1.a - Radius of curve

È la grandezza più semplice da determinare e quella direttamente nota dagli elaborati progettuali dell'infrastruttura, qualora disponibili, ed è la prima grandezza determinata in fase di ricostruzione geometrica dell'asse di tracciamento. Il *Raggio di Curvatura* è indicato generalmente con r .

II.3.3.1.b - Degree of Curve

Il *Degree of Curve*, traducibile letteralmente con “grado di curva” o “grado di curvatura”, è definito come l'angolo al centro, espresso in gradi sessadecimali, che spicca un arco di lunghezza pari a 100m sulla curva. Noto r esso è esprimibile come il rapporto tra la lunghezza di riferimento dell'arco e il valore del raggio, convertito da radianti in gradi, come riportato in Figura II.2:

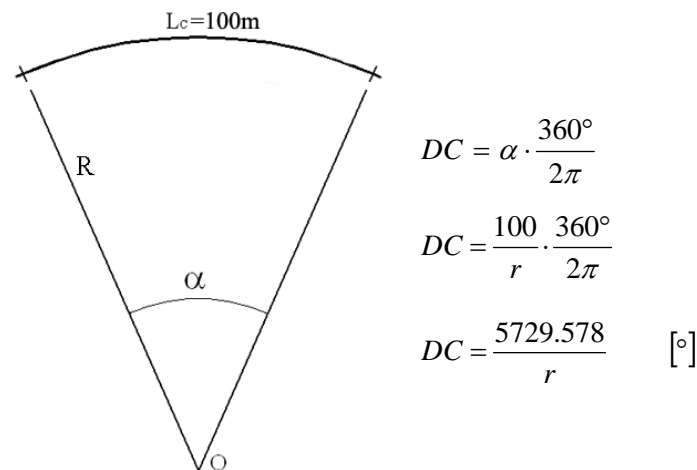


Figura II.2 - Degree of curve.

Inizialmente tale parametro fu istituito per misurare il grado di curvatura di sezioni ferroviarie distanti tra loro 100 piedi. Il riferimento della lunghezze era inoltre riferito alla corda non all'arco, vista la semplicità di misurazione tramite una comune rullina metrica. La limitata estensione dell'arco e l'elevato valore del valore del raggio permetteva di confondere il raggio con la sua corda, risultando un angolo α molto piccolo:

$$r \cdot \frac{\alpha}{2} \cong r \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$$

Il successivo adattamento al sistema metrico decimale (considerando 100m anziché

100 piedi) e all'applicazione di tale parametro al contesto stradale (quindi raggi di curvatura generalmente minori) considera l'estensione dell'arco in luogo di quella della corda.

II.3.3.1.c - Curvature Change Ratio

Con **CCR** si indica il rapporto di variazione della curvatura relativo alla variazione di direzione che interessa un tratto di strada. Note le direzioni di due rettilinei consecutivi, il **CCR** esprime la variazione angolare subita dalla direzione di moto: tale variazione è espressa in gradi sessadecimali o centesimali specifici per km di strada.

Riferendosi ad un'unica curva circolare, il **CCR_s** si esprime tramite le formulazioni della Figura II.3.

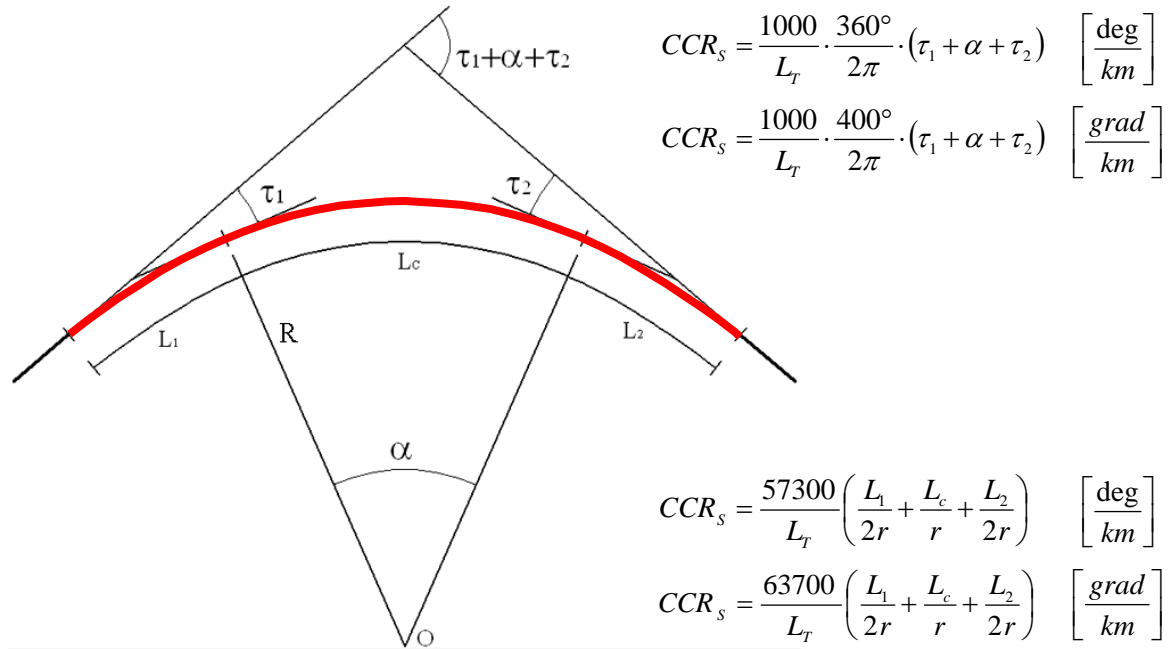


Figura II.3 - Curvature Change Ratio.

Nel caso di assenza di clotoidi o nel caso in cui siano presenti più archi consecutivi connessi tra loro essi si considerano come indicato Figura II.4.

Il CCR può essere calcolato per tratti più estesi (comprendenti anche tratti di continuità) tramite la sua espressione per elementi multipli **CCR_M**:

$$CCR_M = \frac{57300}{L_T} \left(\sum_{i=1}^l \frac{L_i}{2R_i} + \sum_{j=1}^m \frac{L_{c_j}}{2R_j} \right) \left[\frac{\text{deg}}{\text{km}} \right] \quad \text{o} \quad CCR_M = \frac{63700}{L_T} \left(\sum_{i=1}^l \frac{L_i}{2R_i} + \sum_{j=1}^m \frac{L_{c_j}}{2R_j} \right) \left[\frac{\text{grad}}{\text{km}} \right]$$

In generale si può quindi asserire che, nel caso si abbiano successioni di più elementi, il tratto da considerare è quello tra i due punti a curvatura nulla più vicini. Il tasso di

variazione della curvatura può riferirsi a tratti ancora più estesi, definendo una indicazione della tortuosità della specifica porzione di strada analizzata, il **CCR_G**.

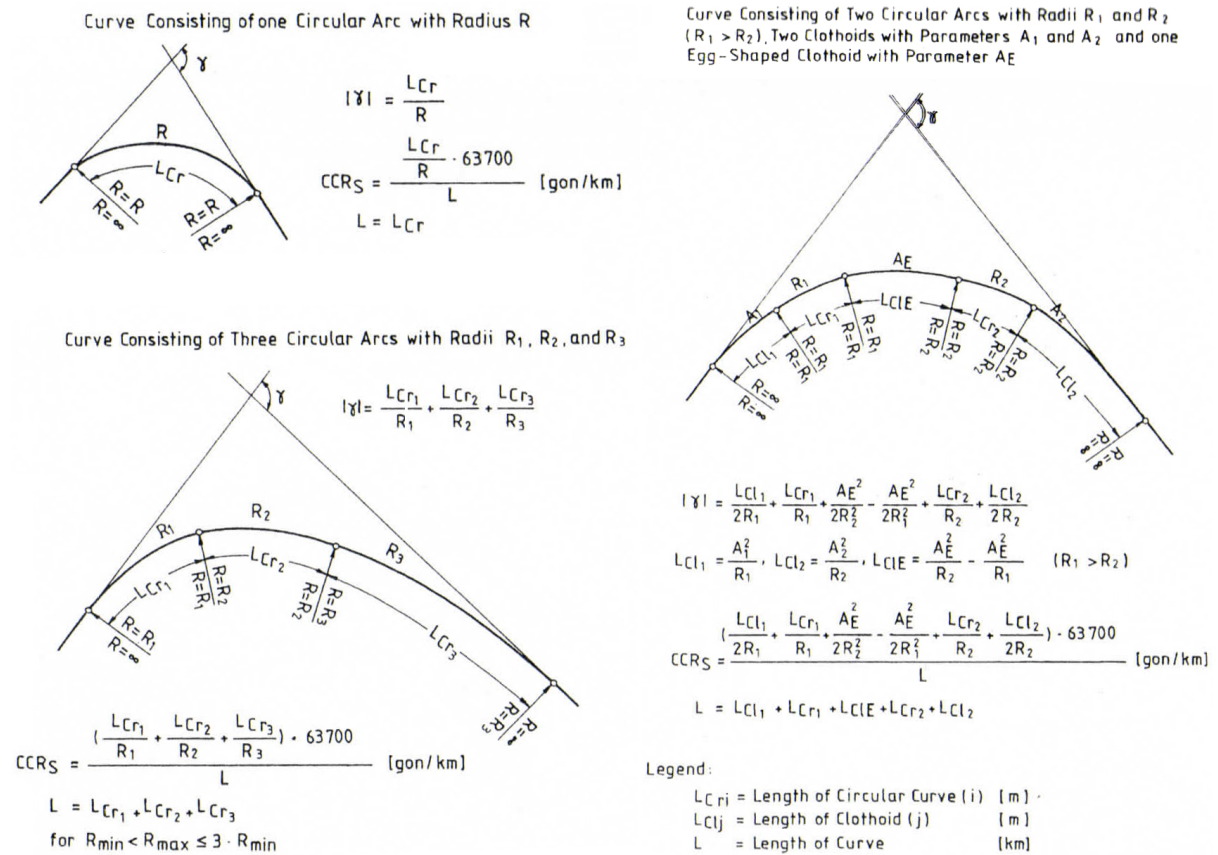


Figura II.4 - Determinazione del CCR per differenti configurazioni geometriche, [17].

II.3.3.1.d - Tangents length

Rappresenta la lunghezza degli elementi rettilinei connessi ai tratti di curva circolare. Questo parametro, **L_T**, è utilizzato sia per determinare la velocità su tratti rettilinei che su tratti circolari. L'analisi della velocità sui tratti circolari, tramite la lunghezza dei rettilinei che li precedono, è specifica per verso di percorrenza.

II.3.3.2 - Velocità sulle singole curve

La velocità assunta dagli utenti della strada è fortemente influenzata dalla geometria stradale e presenta valori differenti in funzione alle caratteristiche degli elementi geometrici percorsi. Ovviamente essa sarà maggiore sui tratti rettilinei piuttosto che sui tratti circolari, essendo le curve gli elementi geometrici maggiormente vincolanti. I tratti circolari, inoltre, sono quelli fortemente interessati da eventi incidentali e, in generale, quelli con una

componente di rischio maggiore. Per queste ragioni essi sono stati i primi elementi per i quali sono stati sviluppati dei modelli predittivi della velocità e sono quelli maggiormente presenti sulla letteratura scientifica di settore. La molteplicità di questi modelli risiede nelle loro intrinseche differenze, relative sia alla loro espressione analitica sia alla differente natura dei parametri di input utilizzati per descrivere le caratteristiche dell'elemento in esame. In generale, i modelli predittivi sono ottenuti tramite delle regressioni di dati sperimentali, finalizzate al conseguimento dell'espressione analitica che meglio rappresenta il campione analizzato. Nel caso di modelli previsionali di velocità operativa si utilizzano le velocità di percorrenza (rilevate tipicamente al centro dell'arco) e le caratteristiche geometriche dell'elemento. Questo approccio sancisce la limitatezza dell'applicazione della regressione, ovvero dei suoi parametri di calibrazione, ai soli contesti analoghi a quelli utilizzati per l'acquisizione dei dati sperimentali: stessa tipologia di strada, stesso contesto ambientale di inserimento e curve circolari di caratteristiche simili a quelle osservate. Questa considerazione sulla universalità di applicazione del modello, valida anche per molti altri contesti sperimentali, ha di certo incentivato i diversi gruppi di ricerca ad ottenere dei modelli specifici che si adattassero al proprio contesto di lavoro. In generale non sono quindi attendibili i risultati ottenibili per inferenza statistica dei modelli previsionali.

Al fine di caratterizzare compiutamente una curva circolare è necessario conoscerne il raggio e l'angolo al centro (o la sua estensione), e, nel caso essa sia connessa ai rettilinei tramite dei raccordi clotoidici, l'estensione degli stessi. Si riportano di seguito alcuni modelli di letteratura, alcuni di questi utilizzano come parametro di input il solo valore del *Raggio* dell'arco o il solo *Degree fo curve*: l'applicazione di questi modelli nei casi in cui siano presenti le clotoidi di connessione dell'arco al rettilineo è evidentemente falsata dall'assenza delle caratteristiche di queste nel modello previsionale. I modelli che invece utilizzano il valore del *CCR* considerano anche il contributo dei tratti di raccordo nella stima della velocità operativa.

$$V_{85} = 95.780 - 0.076 \cdot CCR \quad R^2 = 0.84 \quad [18]$$

$$V_{85} = 101.20 - 0.043 \cdot CCR \quad [19]$$

$$V_{85} = 103.04 - 0.053 \cdot CCR \quad [19]$$

$$V_{85} = \frac{10^6}{(8270 + 8.01 \cdot CCR)} \quad [19]$$

$$V_{85} = \frac{10^6}{(10150.1 + 8.529 \cdot CCR)} \quad [19]$$

$$V_{85} = 96.152 - \frac{2803.769}{r} \quad R^2 = 0.82 \quad [18]$$

$$V_{85} = 94.398 - \frac{3188.656}{r} \quad R^2 = 0.79 \quad [20]$$

$$V_{85} = 103.66 - 1.95 \cdot \frac{1746.38}{r} \quad [19]$$

$$V_{85} = 129.88 - \frac{623.1}{\sqrt{r}} \quad R^2 = 0.78 \quad [20]$$

$$V_{85} = 95.41 - 1.48D - 0.012D^2 \quad R^2 = 0.99 \quad [18]$$

$$V_{85} = 103.03 - 2.41D - 0.029D^2 \quad R^2 = 0.98 \quad [18]$$

$$V_{85} = 96.11 - 1.07D \quad R^2 = 0.98 \quad [20]$$

$$V_{85} = 103.66 - 1.95D \quad R^2 = 0.80 \quad [18]$$

$$V_{85} = 102.40 - 1.57D + 1.012L_c - 0.10\Delta \quad R^2 = 0.82 \quad [18] \text{ in cui } L_c \text{ è la lunghezza della curva e } \Delta \text{ la deviazione angolare di questa.}$$

Già da una prima analisi visiva della Figura II.5 si nota che le differenze tra i valori della velocità, stimate dai diversi modelli a parità di valori di CCR, sono importanti. Inoltre si può osservare come alcuni di questi forniscano valori negativi di velocità oltre certi valori di CCR.

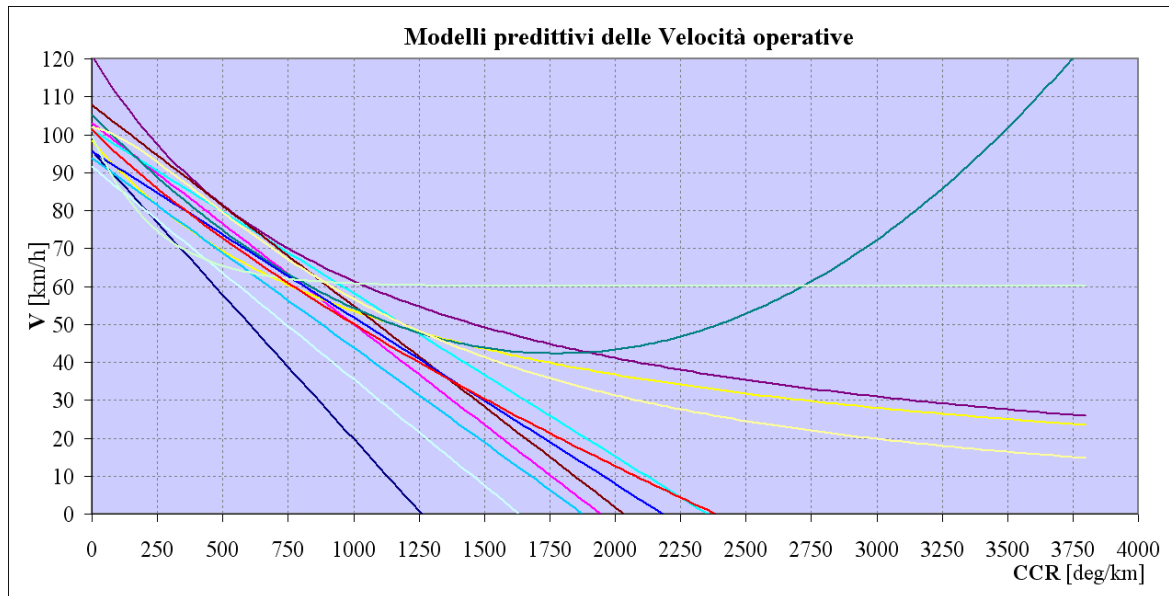


Figura II.5 - Confronto modelli previsionali basati sul CCR.

Nella valutazione della velocità operativa la determinazione del modello previsionale spesso viene relazionata anche alla Distanza di Visuale Libera delle singole curve, [19], [21], [22]. La velocità mantenuta dagli utenti è strettamente dipendente dalla *DVL*, questa può risultare sufficiente in relazione ai tempi di reazione, alle performance dei veicoli, alle condizioni della strada oppure creare delle situazioni di rischio e di alterazione della velocità rispetto alle condizioni ottimali. La velocità operativa è notevolmente influenzata dalla lunghezza e dalla appropriatezza della distanza di visibilità in riferimento alle condizioni geometriche della strada.

La *DVL* può essere considerata in diversi modi nella stima della V_{85} , principalmente interviene nella calibrazione del modello, definendo dei parametri numerici differenti a seconda dell'intervallo di appartenenza della *DVL*. Le limitazioni della distanza di visuale libera considerate nella ricerca internazionale, può dipendere sia da ostruzioni visive planimetriche, [19] e [21], che altimetriche, [21] e [22].

L'influenza della planimetria nella riduzione della *DVL* è riferita fondamentalmente ad ostruzioni della visuale da parte di ostacoli laterali, sia in sinistra che in destra. In particolare gli studi di ricerca hanno concentrato i loro sforzi nella valutazione della relazione esistente tra franco laterale in destra e Distanza di Visibilità per l'Arresto in corrispondenza di curve destrorse.



Figura II.6 - Ostruzione in destra in curva destrorsa,[19].

I risultati di queste ricerche evidenziano la conseguente riduzione di velocità laddove il franco laterale risulta essere inferiore a quello che permetterebbe all'utenza di non alterare la propria condizione di marcia, [19]. L'applicazione dei modelli ottenuti da queste sperimentazioni debbono riferirsi alla stessa tipologia di ostruzione al fine di non alterare l'attendibilità del dato ottenibile.

L'influenza dell'altimetria nella riduzione della *DVL* e la conseguente valutazione della V_{85} saranno affrontate nel paragrafo II.3.3.6.

II.3.3.3 - Velocità ambientale

Gli aspetti più importanti per la stima della velocità operativa dell'utente sono le caratteristiche dell'infrastruttura (la sua conformazione geometrica) e le caratteristiche dell'ambiente in cui essa è inserita, geomorfologiche ed insediative. La considerazione di questi aspetti, da un punto di vista globale, definisce la velocità ambientale V_{Env} , ossia quella velocità operativa dipendente esclusivamente dal contesto in cui è inserita la strada e da parametri globali di tratti omogenei di infrastruttura. In questo senso interverranno nella sua definizione caratteristiche dimensionali trasversali della strada, come la larghezza degli elementi funzionali o la presenza di barriere di sicurezza, mentre le caratteristiche longitudinali saranno valutate complessivamente per tutto il tratto omogeneo. Ciò significa che la condizione di analisi non fa riferimento alla specifica caratteristica dell'elemento geometrico di percorrenza, dal quale questa velocità si ritiene indipendente dal punto di vista locale, ma considera il contributo di questo solo nell'insieme di tutti gli altri elementi geometrici. La velocità così considerata è quindi attribuibile a quegli elementi geometrici meno vincolanti per la definizione di una velocità operativa, ossia i tratti rettilinei che abbiano una estensione sufficientemente grande da non risentire degli effetti di disturbo delle curve a cui essi sono connessi. La base di questo concetto è molto simile ad alcune considerazioni affrontate nel II.2: la stazionarietà della velocità (in funzione delle caratteristiche complessive della strada) basata sulla percezione che gli utenti hanno di questa, indipendentemente dal vincolo geometrico locale, definisce una condizione di equilibrio nelle scelte dell'individuo, direttamente dipendente dalla sua percezione di sicurezza e comfort. Questo approccio, tuttavia, consente di effettuare delle considerazioni oggettive di questo equilibrio, puntando principalmente alla valutazione degli effetti (velocità) piuttosto che alla formalizzazione delle cause che lo generano. Ciò è comunque effettuato distinguendo i risultati in relazione a delle categorie definite per i parametri di input. Ad esempio si può correlare tale V_{Env} al parametro CCR_G , ossia alla deviazione angolare media di una porzione omogenea di tracciato, come effettuato in alcune sperimentazioni, [23].

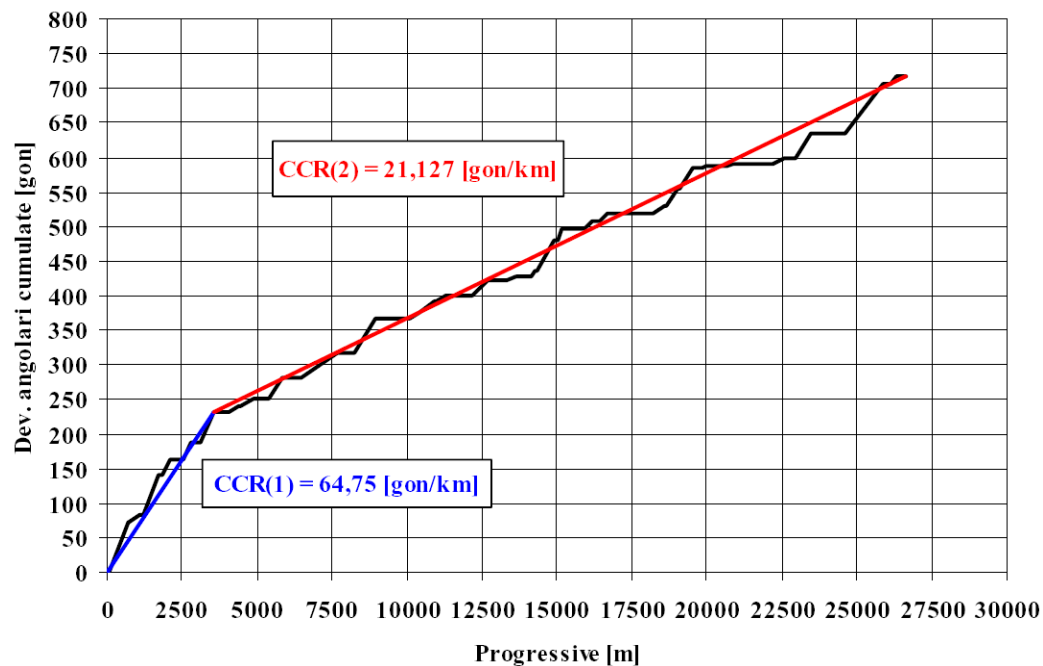


Figura II.7 - Esempio di definizione di tratto omogenei di strada per il calcolo della V_{Env} , [23].

Nel caso di studio di Figura II.7 dal parametro geometrico complessivo CCR_G si è ottenuto, tramite delle osservazioni sperimentali di velocità, un modello predittivo della velocità ambientale, $V_{Env} = 239.49 CCR^{-0.1875}$, che nella definizione dei parametri di calibrazione include intrinsecamente le caratteristiche ambientali dell'ambiente in cui è inserita la strada, della specifica composizione dell'utenza e di tutti gli altri aspetti caratterizzanti l'infrastruttura che concorrono alla definizione dell'equilibrio della velocità massima. La sostanziale differenza di questo approccio rispetto ai presupposti della RHT , è quindi legato sia alla implicita considerazione della maggior parte dei parametri che contribuiscono alla definizione della condizione stazionaria, ma soprattutto all'intrinseca valenza della percezione del rischio che determina l'equilibrio della velocità attuata.

La velocità ambientale è anch'essa una velocità operativa e come tale è una grandezza statistica, non deterministica: anche la sua rappresentazione quantitativa è effettuata tramite l'85° percentile delle velocità attuate dall'utente stradale. I modelli predittivi della sono frutto di regressioni analitiche su dati sperimentali di velocità ottenuti su elementi geometrici non vincolanti, ossia su tratti rettilinei molto estesi in corrispondenza di livellette pressoché orizzontali. Un esempio di questa stima, in funzione del CCR globale, è riportato nella figura seguente.

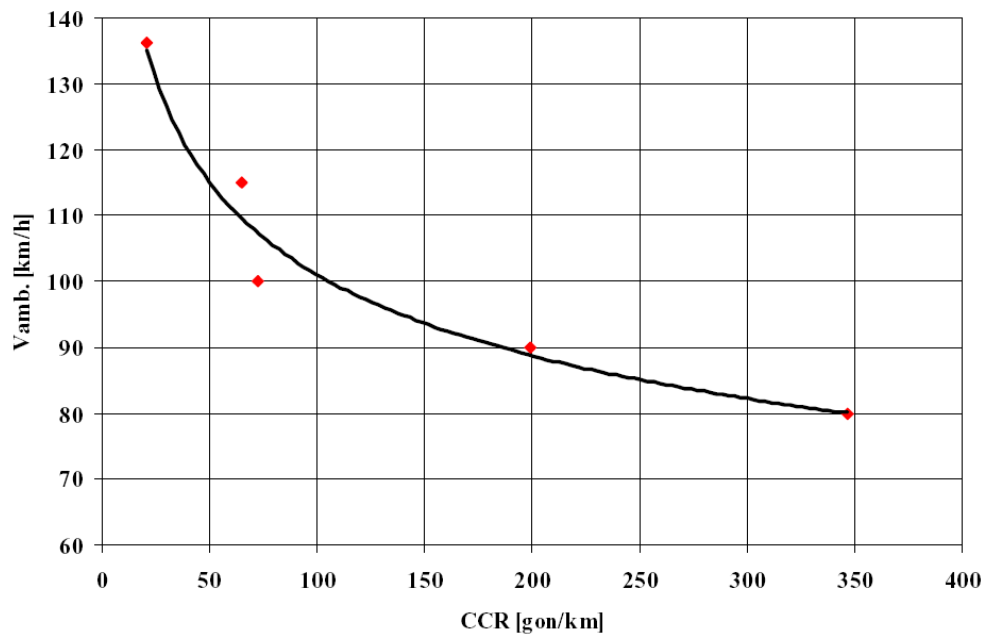


Figura II.8 - Velocità ambientale in funzione della “tortuosità” del tratto omogeneo, [23].

L'utilizzo della velocità ambientale definisce implicitamente che gli utenti considerino, nella scelta della loro velocità operativa, non soltanto le caratteristiche degli elementi geometrici che stanno percorrendo ma anche le caratteristiche degli elementi che hanno appena percorso.

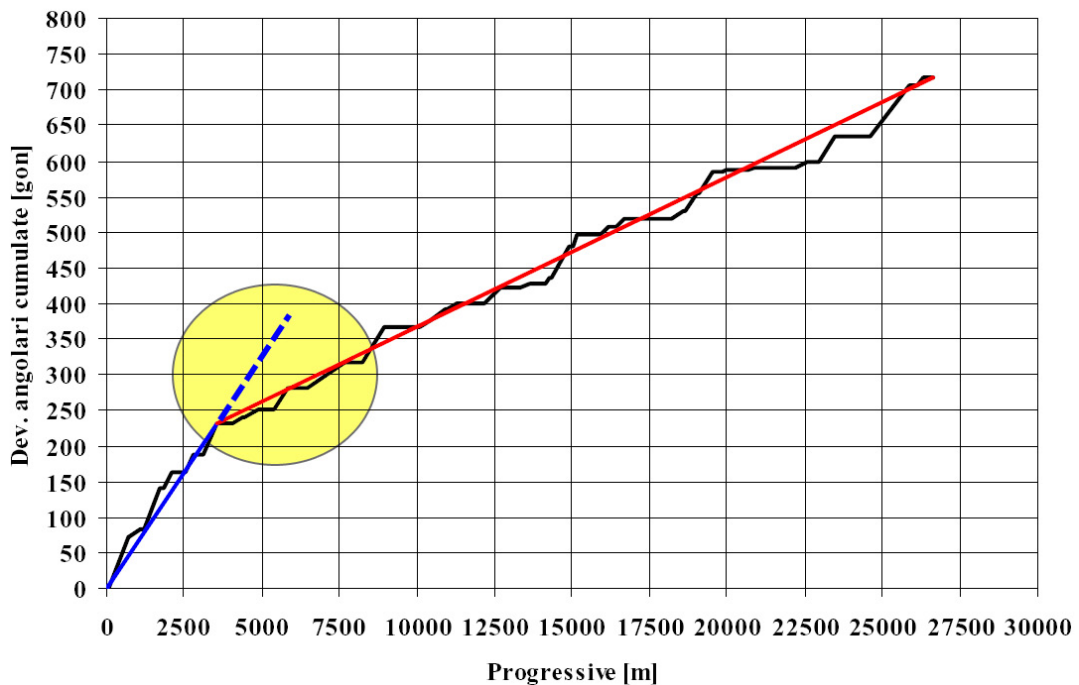


Figura II.9 - Tratto transitorio nel passaggio tra due tronchi omogenei di strada.

Questa memoria di parte del “trascorso” rappresenta un’ulteriore analogia con i concetti omeostatici discussi nel capitolo precedente, e dovrebbe portare alla considerazione dei fenomeni transitori che si hanno nel passaggio tra due tronchi stradali omogenei. In riferimento alla Figura II.9 il tratto interessato da fenomeni transitori è quello evidenziato in giallo. Tale concetto è stato utilizzato per formalizzare il modello predittivo esposto nel Capitolo III.

Il concetto di velocità ambientale, o velocità desiderata, è normalmente considerato nella valutazione delle velocità sui tratti rettilinei, [22], e può costituire un primo sintomo di problematiche di sicurezza se essa assume dei valori notevolmente maggiori della velocità di progetto (o del limite legale) caratteristico dell’infrastruttura, [21].

II.3.3.4- Velocità sui rettilinei, valutazione della successione degli elementi

La determinazione della velocità sui rettilinei era inizialmente effettuata tramite i modelli sviluppati per le singole curve, adottando per il calcolo il valore di CCR nullo. In questo modo era possibile associare a ciascun elemento la propria velocità operativa di regime, che però non considerava le necessarie variazioni di velocità in corrispondenza del passaggio da curvatura nulla a curvatura finita, [17]. Successivamente sono stati introdotti dei modelli specifici per il calcolo della velocità anche per questi elementi meno vincolanti. Tali modelli tengono in conto la lunghezza dei rettilinei, cioè la vicinanza delle curve che essi connettono. Alcuni di questi modelli considerano anche i raggi delle curve adiacenti al rettilineo (o le velocità operative su di esse) e le caratteristiche dell’ambiente che li circonda includendo quindi i concetti di velocità ambientale (o velocità desiderata). Nella realtà si osserva che le velocità assunte dall’utente non sono costanti lungo lo sviluppo degli elementi, la velocità arriva a mantenersi costante in un tratto solo nel caso che l’elemento sia sufficientemente lungo da permettere il raggiungimento di una fase di regime. Esistono differenti modelli che valutano la velocità in diversi punti dell’elemento in relazione a quelle che sono le sue caratteristiche dimensionali.

La velocità sui tratti rettilinei è strettamente legata alle caratteristiche dell’ambiente in cui essi sono inseriti, [22], essendo la velocità ambientale a cui tende l’utente strettamente dipendente dal contesto in cui la strada è inserita. I successivi parametri di valutazione devono tener conto dei valori della velocità in uscita dalla curva e la lunghezza che ha l’utente per raggiungere la V_{Env} , [22]. La valutazione della lunghezza $L_{T,max}$ necessaria affinché sia

raggiunta la V_{Env} è effettuata in diversi modi dai differenti gruppi di ricerca. Il metodo più diffuso è considerare delle leggi di moto uniformemente accelerato/decelerato per descrivere le fasi di moto vario e modelli predittivi delle accelerazione utilizzate dall'utente:

$$L_{T,max} = \frac{2V_{Env}^2 - V_{85,C1}^2 - V_{85,C2}^2}{25.92a}$$

il modulo dell'accelerazione è considerato pari a 0.85m/s^2 , [22].

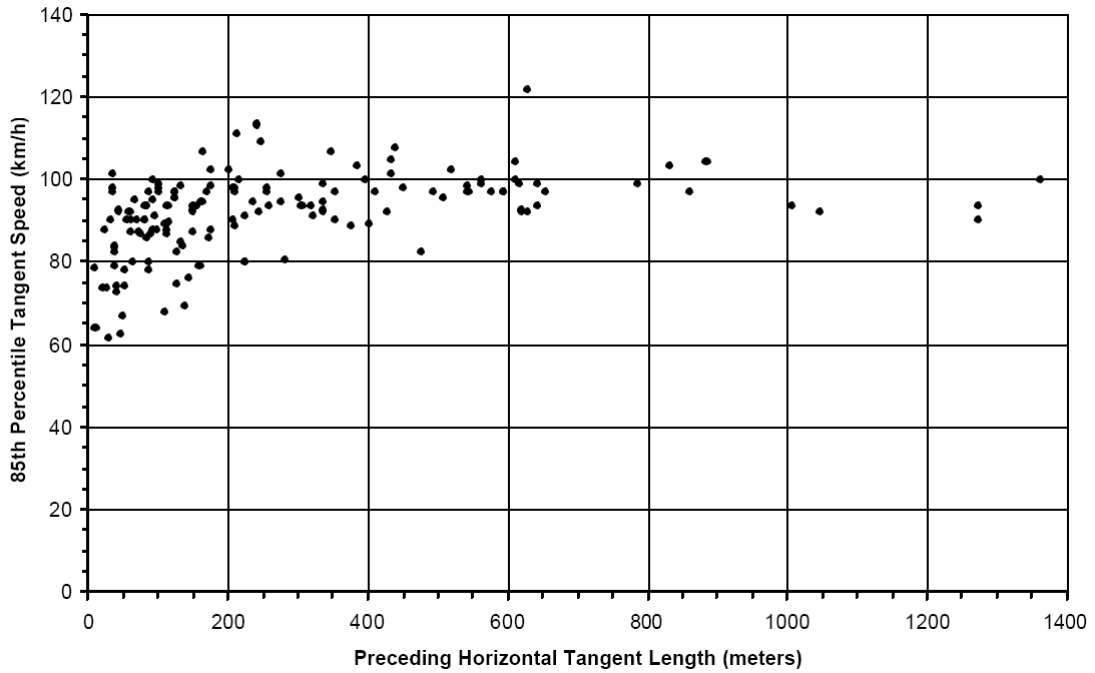


Figura II.10 - Velocità finale sul rettilineo in relazione alla sua lunghezza, [22].

Alcune recenti sperimentazioni, [24], hanno portato a definire una schematizzazione logica per la valutazione della velocità sui rettilinei: nella valutazione di questa velocità vi è la necessità di considerare le caratteristiche delle curve che precedono e seguono il tratto in analisi. Queste costituiscono le variabili primarie nella identificazione della velocità operativa, in particolar modo le caratteristiche della curva precedente, mentre l'influenza delle variabili secondarie può essere trascurata. Il primo parametro da valutare è la velocità ambientale. Tramite la caratterizzazione delle velocità spontanee dell'utente in condizioni geometriche non vincolate, ma che comunque tengano conto delle caratteristiche medie d'insieme del tratto considerato, si ottiene una stima della velocità ambientale:

$$V_{env} = 82.84 - 0.10 \cdot CCR_G + 3.44 \cdot L_T$$

La velocità così determinata è funzione del CCR medio del tratto stradale in cui è

inserito il rettilineo e la lunghezza di questo. Il valore V_{Env} è poi utilizzato per calcolare la velocità della curva che precede il rettilineo in esame, tramite l'analisi del suo raggio di curvatura

$$V_{85c} = -2073.70 \cdot \left(\frac{1}{R}\right) + 31029.00 \cdot \left(\frac{1}{R}\right)^2 + 0.87 \cdot V_{env}.$$

La successiva stima della velocità raggiunta sui tratti rettilinei è effettuata tramite la seguente formulazione.

$$V_{85T} = 15.45 \cdot \text{Log}_{10}(L_T) + 0.57 \cdot V_{85Cp}$$

dove con V_{85Cp} si indica il valore della velocità operativa della curva che precede il rettilineo. L'analisi così condotta, specifica per ciascun verso di percorrenza, permette di individuare tre categorie di rettilinei, in funzione della lunghezza di questi e della velocità che su essi si raggiunge:

- $L_T \leq L_{T,min}$ Rettilineo minore della lunghezza minima per effettuare delle variazioni di velocità, la giusta composizione planimetrica da adottare per valutare la velocità operativa deve considerare la sola sequenza delle due curve consecutive;
- $L_T \geq L_{T,max}$ Rettilineo di lunghezza maggiore di un valore massimo di riferimento che definisce il rettilineo indipendente dalle curve ad esso connesso, con la conseguente possibilità di raggiungere su esso una velocità pari alla velocità ambientale.
- $L_{T,min} < L_T < L_{T,max}$ Rettilineo di lunghezza intermedia che permette il raggiungimento di velocità superiori alle velocità relative alle due curve che esso collega, ma non uguale alla velocità ambientale del tratto considerato.

I valori $L_{T,min}$ e $L_{T,max}$ sono desunti da specifici modelli relazionati alle accelerazioni adottate dagli utenti all'uscita delle curve circolari.

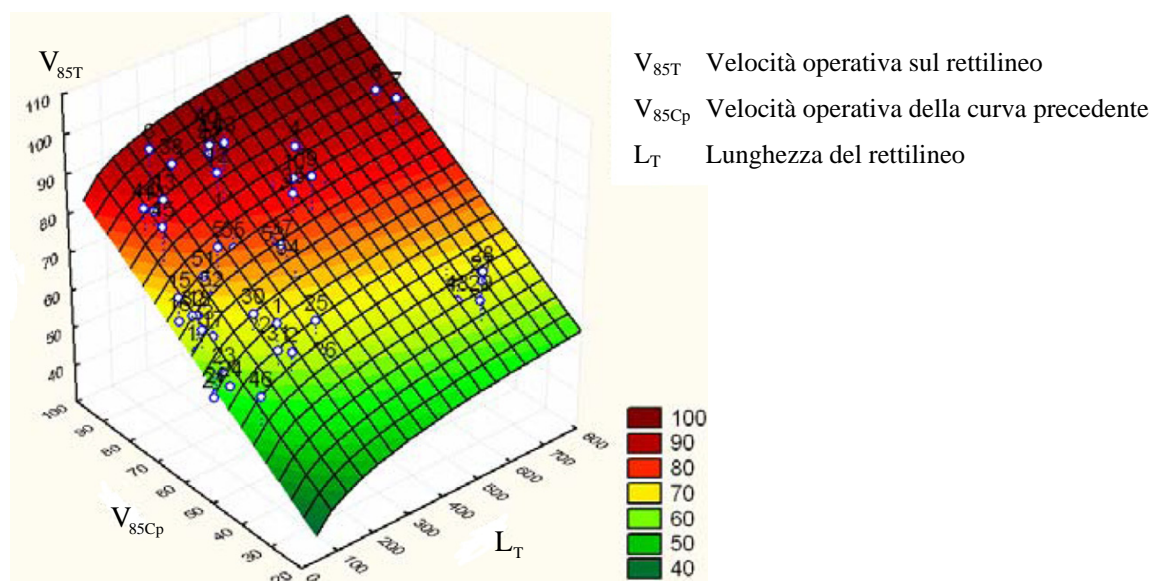


Figura II.11 - Variazione della V_{85} in funzione dei parametri di input, [24].

II.3.3.5- Valutazione dell'altimetria

Le valutazioni effettuate sino a questo punto riguardano esclusivamente le caratteristiche planimetriche del tracciato, in quanto nel paragrafo II.3.1 si è introdotta nell'elenco delle ipotesi base di studio la conformazione pressoché pianeggiante del tratto di strada analizzato con conseguente indipendenza dei modelli previsionali dalla conformazione altimetrica della strada. Nella realtà, invece, sono frequenti i casi in cui la componente altimetrica ha notevole importanza nella scelta della velocità da parte dell'utente e non può essere trascurata. Essa, infatti, non influisce come un parametro di scelta della velocità operativa, ma come limitazione della possibilità che ha l'utente di raggiungerla, per motivi connessi alle potenze in gioco (nei casi in salita) o per motivi connessi alla possibilità di arrestare il veicolo per velocità elevate (nei casi di discesa). Tale alterazione della velocità è ancor più soggetta a fenomeni aleatori e soggettivi rispetto all'influenza della geometria planimetrica, essendo relazionata alla natura del veicolo, alle caratteristiche di aderenza della strada e a fenomeni dinamici tipicamente non lineari. La mancata coincidenza e sovrapposizione di tratti planoaltimetricamente omogenei crea ulteriori difficoltà nella definizione della velocità operativa in configurazioni non pianeggianti. Alcuni studi di ricerca, tuttavia, si sono cimentati in queste valutazioni, relazionando le caratteristiche altimetriche alle grandezze cinematiche operative. In particolare le caratteristiche utilizzate come input per i modelli sono la lunghezza L_V , il raggio verticale R_V del raccordo (o del cerchio osculatore in

caso di raccordo parabolico), la differenza di pendenza longitudinale ΔG delle livellette connesse e la variabile K , ossia la lunghezza del raccordo necessaria per una variazione di pendenza dell'1%. Lo studio dell'influenza dell'altimetria deve essere affrontato separatamente per i differenti elementi planimetrici, e tenere conto della diversa tipologia di raccordo, concavo o convesso. Alcune ricerche internazionali, [22], forniscono casi sperimentali di studio in cui sono relazionate le velocità sugli elementi (in corrispondenza dei vertici dei raccordi verticali) al parametro $1/K$. Nella figura seguente si riporta il caso studio dei rettilinei.

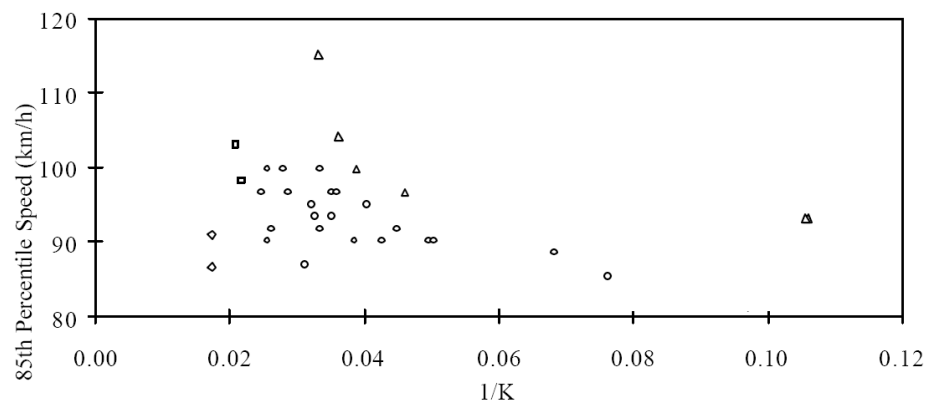


Figura II.12 - V_{85} su raccordi convessi in corrispondenza di tratti rettilinei, [22].

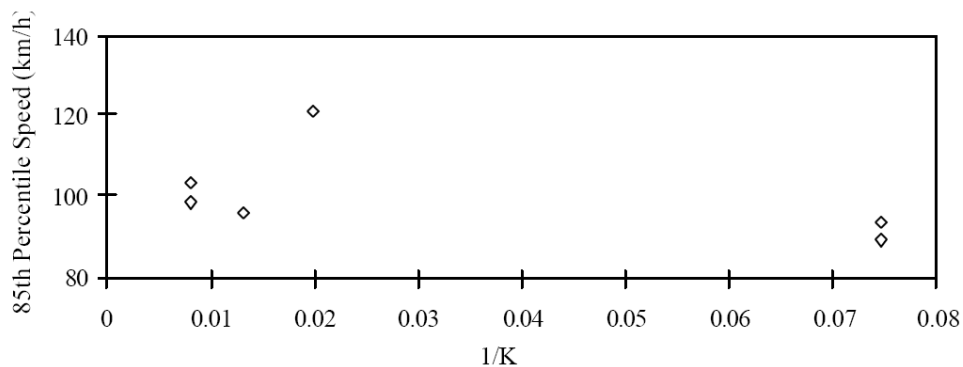
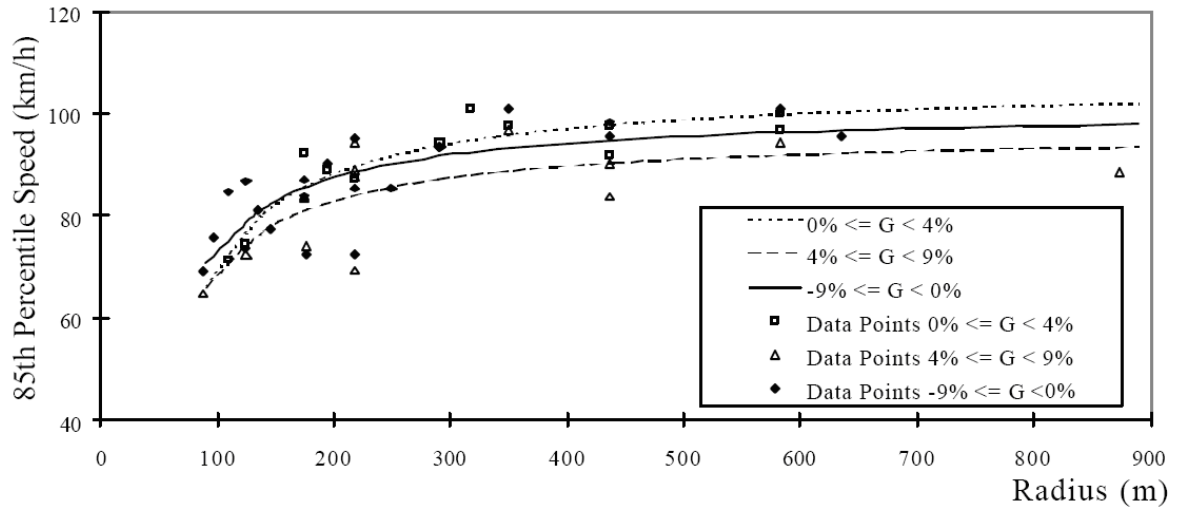


Figura II.13 - V_{85} su raccordi concavi in corrispondenza di tratti rettilinei, [22].

La regressione di questi valori può generare un modello previsionale della velocità operativa in corrispondenza di detti elementi, permettendo di valutare la velocità operativa in relazione alla configurazione pianeggiante e valutare l'influenza dell'altimetria sulla velocità stimata.

Figura II.14 - Influenza della pendenza longitudinale sulla V_{85} , [22].

Ulteriori correlazioni sono poi ottenute per le clotoidi e per le differenti tipologie di veicolo, valutando il decadimento delle velocità operative per veicoli a bassa potenza specifica, veicoli lenti, in analogia con quanto considerato nel HCM2000, [25]. Tale accezione di velocità operativa sfocia nella similitudine con la velocità di esercizio. Questo accostamento deve essere considerato molto prudentemente, riferendosi, le due velocità, a due grandezze statistiche rappresentative differenti dei flussi veicolari.

Altro approccio è stato effettuato da Gibreel, [20]. Tramite una rappresentazione dettagliata di tutti i parametri geometrici che caratterizzano gli elementi altimetrici e planimetrici si giunge ad una valutazione completa della velocità operativa sul tratto. La indubbia impossibilità di adottare tale modello per strade esistenti, di cui non si conoscono i parametri di progettazione degli elementi, limita notevolmente l'applicabilità del modello. Si riporta di seguito l'approccio risolutivo e le relative formulazioni analitiche della velocità riferite ai 5 punti caratteristici del raccordo concavo in esame.

$$\begin{aligned}
 V_{s1} &= 91.81 + 0.010r + 0.468\sqrt{L_v} - 0.006G_1^3 - 0.878 \ln(A) - 0.826 \ln(L_o) & R^2 &= 0.98 \\
 V_{s2} &= 47.96 + 7.217 \ln(r) + 1.534 \ln(L_v) - 0.258G_1 - 0.653A - 0.008L_o + 0.020 \exp(E) & R^2 &= 0.98 \\
 V_{s3} &= 76.42 + 0.023r + 2.300 \times 10^{-4}K^2 - 0.008 \exp(A) - 1.230 \times 10^{-4}L_o^2 + 0.062 \exp(E) & R^2 &= 0.94 \\
 V_{s4} &= 82.78 + 0.011r + 2.067 \ln(K) - 0.361G_2 + 0.036 \exp(E) - 1.091 \times 10^{-4}L_o^2 & R^2 &= 0.95 \\
 V_{s5} &= 109.45 - 1.257G_2 - 1.586 \ln(L_o) & R^2 &= 0.79
 \end{aligned}$$

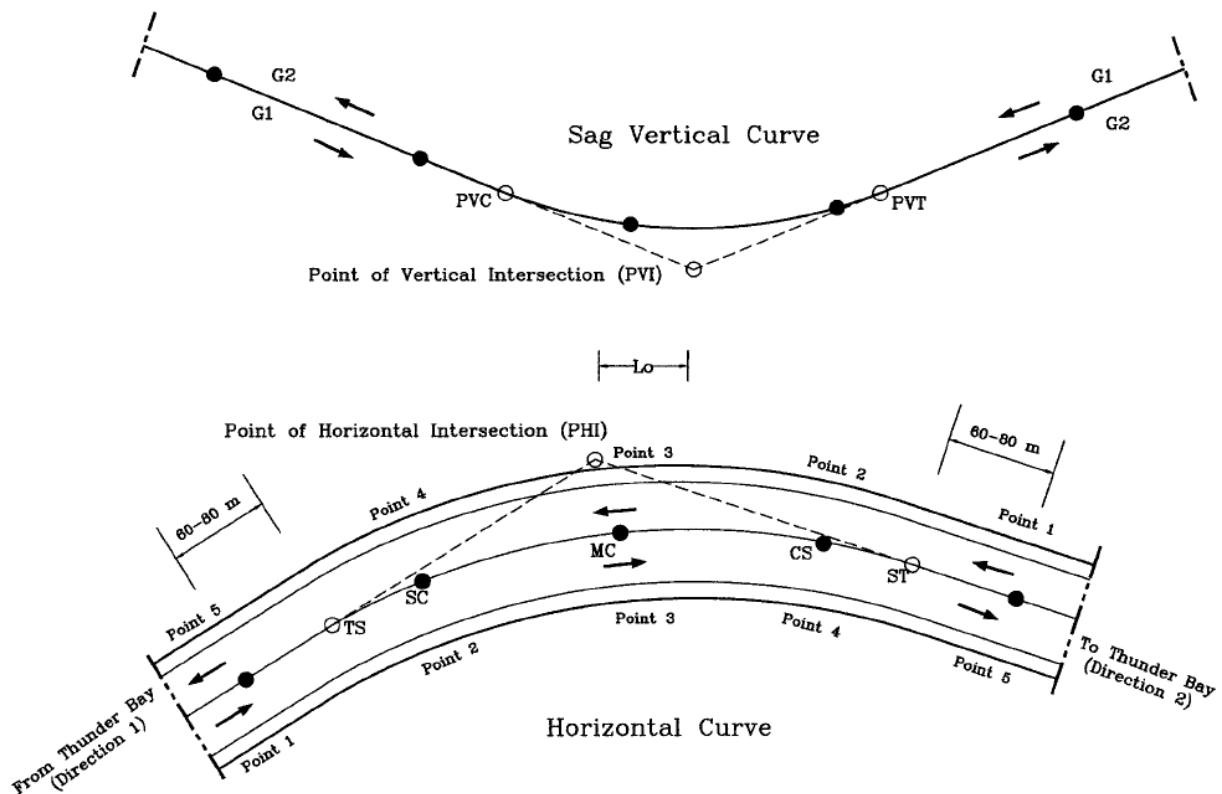


Figura II.15 - Configurazione del caso di studio e significato dei parametri di input, [20].

Analogo approccio è stato effettuato nella valutazione della velocità operativa sui raccordi convessi. In generale risulta difficile avere la perfetta coincidenza tra raccordi planimetrici e altimetrici nel coordinamento piano altimetrico. La casistica reale pone delle indubbie difficoltà nella generalizzazione dei metodi che considerano anche l'aspetto altimetrico nella valutazione della V_{85} . In questi specifici casi sarebbe forse opportuno effettuare delle valutazioni puntuali della velocità piuttosto che arricchire il panorama delle casistiche per le differenti configurazioni che possono assumere gli elementi geometrici.

II.3.3.6 - Diagramma delle velocità operative

A valle delle tematiche trattate, risulta spontanea la considerazione della velocità adottata sulla strada nel suo complesso. Determinate le velocità caratteristiche di ciascun elemento geometrico si ottiene un profilo delle velocità discontinuo, con dei salti in prossimità dei punti terminali degli elementi.

La connessione dei tratti a velocità costante è effettuato in letteratura tramite la definizione di modelli cinematici opportuni, che rappresentano la modalità di variazione della velocità attuate dagli utenti, come accennato nei paragrafi precedenti. Tali modelli spesso

sono ricondotti a moti uniformemente accelerati/decelerati in cui si assume come modulo dell'accelerazione un valore deterministico di riferimento.

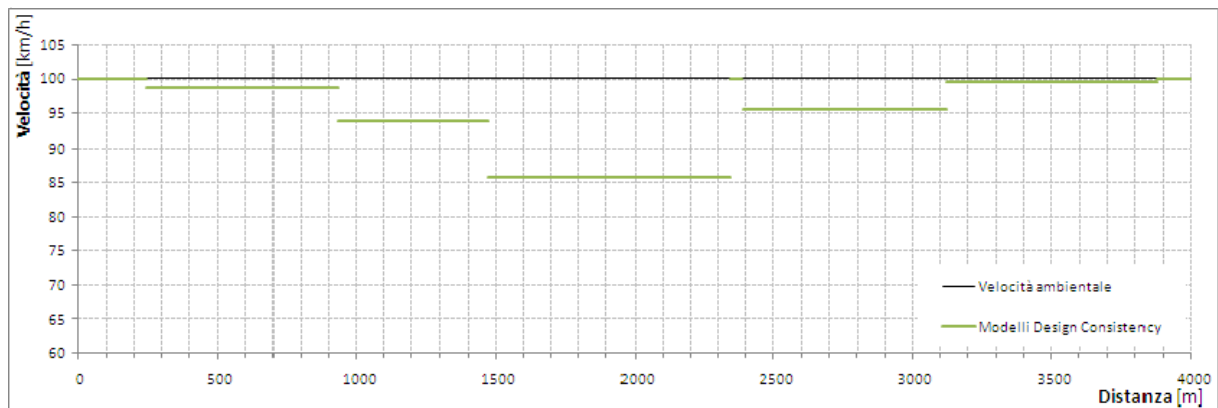


Figura II.16 - Diagramma delle velocità operative relativo alle V_{85} dei singoli elementi.

Questo approccio lascia sicuramente spazio a delle perplessità sulla reale rappresentatività dell'accelerazione di tutto il campione dell'utenza. Un approccio più esaustivo dovrebbe considerare l'accelerazione alla stregua di una variabile statistica, considerando anche per essa un valore statistico rappresentativo, per esempio la a_{85} che per analogia è l'85° percentile del modulo dell'accelerazione attuata dagli utenti all'uscita, o all'ingresso, di una curva. Questa effimera valutazione di congruenza non considererebbe la differente natura dei dati e la conseguente differenza tra le dispersioni di questi, ossia la loro varianza. Resta senza dubbio l'interesse nel valutare la possibile correlazione statistica tra la V_{85} e la a_{85} , ma, data l'aleatorietà dei dati, l'applicazione di un valore unico di accelerazione nelle differenti casistiche sperimentali risulta essere spesso un approccio ampiamente accettabile. Infatti, la natura delle considerazioni di sicurezza attualmente in uso riguarda, come si vedrà a breve, le discrepanze tra le velocità operative proprie degli elementi e non la valutazione di come queste sono raggiunte dall'utenza. Esistono comunque delle ricerche, [27], che hanno affrontato il tema dal punto di vista statistico tramite la valutazione delle accelerazioni medie e delle accelerazioni operative assunte dagli utenti per differenti tratti di strada. I risultati ottenuti evidenziano la grande variabilità del valore dell'accelerazione che in sito arriva a variare da 0.26m/s^2 a 1.25m/s^2 . La stima delle accelerazioni è stata effettuata in prossimità dell'approccio al tratto rettilineo, laddove le dispersioni delle velocità sono ridotte. In corrispondenza della zona centrale del rettilineo, infatti, la libera scelta della velocità da parte dell'utente rende molto dispersi i valori di queste: in poche parole è elevata la

discrepanza tra le varianze di velocità operativa e velocità ambientale. Il modulo dell'accelerazione/decelerazione può quindi essere correlato alle caratteristiche geometriche degli elementi, come riportato in figura.

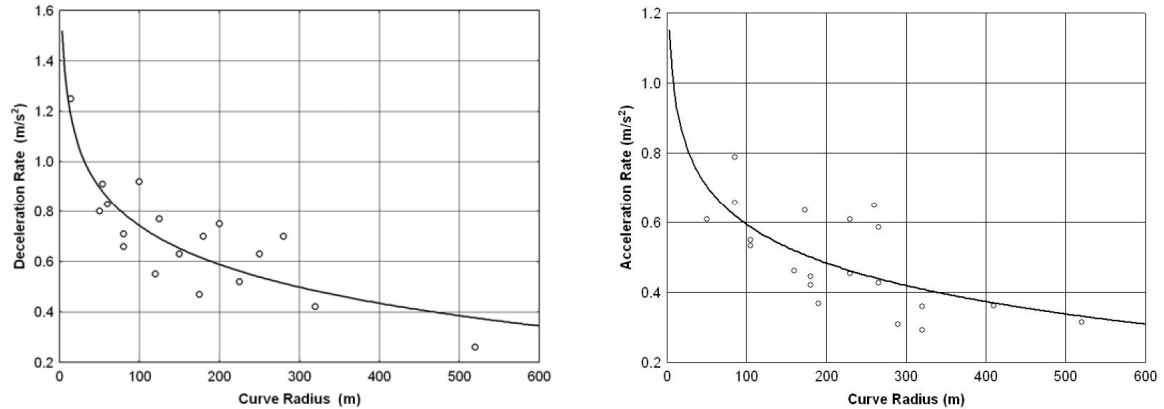


Figura II.17 - Relazione tra moduli di accelerazione e decelerazione e raggio della curva, [28].

Risulta evidente che l'assunzione indiscriminata di un unico modulo di accelerazione non è corretto ai fini della definizione del diagramma delle velocità operative.

Per il tracciamento del diagramma delle velocità, inoltre, non è sufficiente conoscere il valore dell'accelerazione da applicare, ma è necessario sapere anche da che punto deve considerarsi la variazione di velocità. Generalmente esso si considera coincidente con i punti estremi dei tratti circolari, assumendo che da questi inizi la fase di moto vario ad accelerazione costante, [29]. L'evoluzione della variazione di velocità è invece dipendente dalla relazione esistente tra le lunghezze degli elementi planimetrici. Possono aversi differenti tipologie di diagramma in relazione alla presenza, tra due tratti circolari, dello spazio necessario per raggiungere la velocità ambientale, in analogia con quanto accade con il tracciamento del diagramma delle velocità secondo le indicazioni del DM 2001, [8].

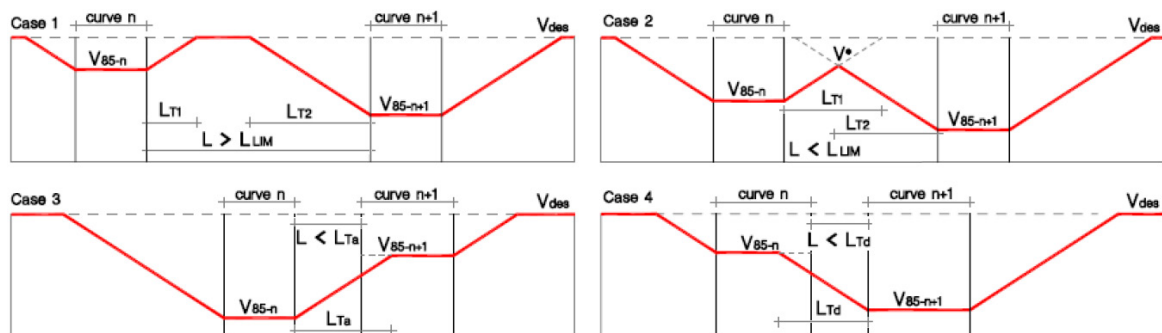


Figura II.18 - Possibili configurazioni di accelerazione e decelerazione, [29].

Le potenzialità offerte dal diagramma delle velocità operative sono molteplici e riguardano non solo le considerazioni di sicurezza connesse allo studio della Design Consistency, ma soprattutto le valutazioni di sicurezza che discendono dalla conoscenza della velocità operativa dell'utente. Le verifiche di tutti gli elementi geometrici, sia planimetrici che altimetrici, nonché le verifiche di sicurezza di visibilità sono strettamente connesse alle velocità di percorrenza puntuali del tracciato. La conoscenza di valori maggiormente realistici di queste velocità diviene indispensabile qualora si pensa che le velocità operative rilevate sulle strade extraurbane sono normalmente superiori alle velocità di progetto derivate dalle tradizionali considerazioni di equilibrio del veicolo in curva, [30]. L'imposizione di limiti legali sulle infrastrutture non aumenta la condizione di sicurezza della strada, specialmente quando la velocità operativa è notevolmente maggiore alla velocità considerata dal progettista nella definizione degli elementi. Sono allora necessari degli interventi che portino l'utente ad attuare delle velocità coerenti con quanto definito nella fase progettuale, nasce quindi il concetto di *Self Explaining Roads*, ossia infrastrutture di caratteristiche tali da indurre l'utente ad adottare spontaneamente le velocità utilizzate per progettare la strada, [30]. Per poter effettuare una progettazione finalizzata a questo scopo, il rapporto tra caratteristiche della strada e comportamento dell'utente deve essere compiutamente noto.

II.3.3.7- Valutazioni statistiche dei parametri cinematici.

L'insieme dei parametri che intervengono nella valutazione delle velocità sono rappresentazioni statistiche di grandezze reali. Nella loro valutazione e comparazione possono crearsi delle incoerenze se il confronto si basa esclusivamente sulla velocità operativa. Due campioni infatti possono essere rappresentati dal medesimo valore di V_{85} senza che i campioni siano tra loro simili, potendo variare infatti la distribuzione di velocità (ossia la varianza) senza che questa provochi delle variazioni sul valore di V_{85} di confronto. Alcune ricerche, [27] [31] [32], hanno approfondito tale potenziale incongruenza, portando ad asserire che la valutazione della coerenza progettuale effettuata mediante delle valutazioni delle differenze di velocità operativa proprie di tratti rettilinei e circolari tende a sottovalutare la riduzione di velocità operativa a causa della differente distribuzione di velocità sui diversi elementi.

La previsione della varianza delle differenti grandezze cinematiche, velocità e accelerazioni operative, non è attualmente possibile in quanto non esistono modelli di letteratura che ne permettono una stima diretta, come non esistono criteri di confronto di

queste grandezze nella valutazione della sicurezza stradale.

Non è quindi statisticamente coerente confrontare la differenza di V_{85} tra due elementi di differente natura, caratterizzati da distribuzioni statistiche differenti. L'approccio più corretto, anche se di difficile applicazione, è quello di valutare la ΔV_{85} come una variabile statistica a se stante, con il suo valore statistico rappresentativo (l'85° percentile) e la sua varianza.

II.3.4- Criteri di letteratura per la valutazione della sicurezza.

La valutazione della consistenza progettuale e della sicurezza che ne scaturisce, può essere effettuata in differenti modi, a seconda del punto di vista che si utilizza per valutare le caratteristiche della strada e la relativa reazione del guidatore. Gli indici di allineamento utilizzati come input (CCR , DC , r , L_T , ecc.) per la valutazione della velocità operativa forniscono uno strumento di analisi dal "lato del progettista", che, tramite i modelli predittivi, formalizza e calcola la reazione dell'utente. La successiva stima della consistenza in chiave sicurezza è effettuata tramite criteri specifici che valutano quantitativamente le discrepanze tra la risposta dell'utente così calcolata e dei valori limite di accettazione. Questo procedimento è alla base dei *Safety Criteria* di Lamm.

Altro tipo di approccio è quello di valutare direttamente la risposta dell'utente agli stimoli offerti dall'infrastruttura in relazione al lavoro e all'impegno che gli è richiesto per guidare sull'infrastruttura. Gli approcci che si basano sull'analisi dal "lato dell'utente" analizzano direttamente, e continuamente, le reazioni di questi, senza passare per il tramite della velocità operativa. I parametri misurati variano da teoria a teoria, considerando lo stato di lavoro e di affaticamento nel caso del *Mental Workload*, i movimenti dell'occhio in corrispondenza dei differenti stimoli nel caso del *Visual Load Index* o parametri vitali come attività celebrale o cardiaca in altre sperimentazioni, *DIVAS* [46].

Nei paragrafi seguenti saranno esposti i concetti base delle differenti metodologie.

II.3.4.1 - Criteri di Lamm, Safety Criteria

Per la valutazione della sicurezza dei tracciati stradali, nelle condizioni ideali esposte nel paragrafo II.3.2, nel 1980 furono introdotti da Lamm tre metodi che ne permettessero un giudizio basato su criteri quantitativi, i *Safety Criteria*.

Safety criterion I - Achieving design consistency

$$|V_{D,i} - V_{85,i}| \begin{cases} \in [0;10] \text{ km/h} & \text{Progetto adeguato} \\ \in (10;20] \text{ km/h} & \text{Progetto sufficiente} \\ > 20 \text{ km/h} & \text{Progetto inadeguato} \end{cases} \quad \forall i - \text{esimo elemento}$$

Safety criterion II - Achieving operating speed consistency

$$|V_{85,i} - V_{85,i+1}| \begin{cases} \in [0;10] \text{ km/h} & \text{Progetto adeguato} \\ \in (10;20] \text{ km/h} & \text{Progetto sufficiente} \\ > 20 \text{ km/h} & \text{Progetto inadeguato} \end{cases} \quad \forall i - \text{esimo elemento}$$

Safety criterion III - Achieving driving dynamic consistency

$$f_{TA,i} - f_{TD,i} \begin{cases} \geq 0.01 & \text{Progetto adeguato} \\ \in [-0.04;0.01) & \text{Progetto sufficiente} \\ < -0.04 & \text{Progetto inadeguato} \end{cases} \quad \forall i - \text{esima curva circolare}$$

La notazione al pedice della velocità si riferisce alla condizione di progetto (*Design*), mentre per l'aderenza trasversale i pedici si riferiscono al contributo disponibile (*Available*) e a quello richiesto (*Demanded*).

II.3.4.1.a - Safety criterion I

Il primo criterio di sicurezza proposto da Lamm riguarda l'analisi di sicurezza di tutti gli elementi costituenti il tracciato (considerati singolarmente) e si applica sia alle curve circolari che ai tratti rettilinei. Tale analisi è incentrata sul confronto tra la velocità di progetto, in riferimento alle condizioni di stabilità del veicolo e nel rispetto della normativa di riferimento, e la velocità operativa attesa su di esso. Tramite questo confronto è possibile verificare se la condizione di esercizio considerata nelle fasi progettuali risulta coerente con la condizione operativa di marcia. Dalla differenza tra queste due velocità, infatti, si ottengono delle indicazioni sulla coerenza della progettazione del tracciato. Se tale differenza è inferiore a 10km/h il progetto si considera buono essendo le velocità in esercizio prossime a quelle utilizzate per la progettazione del tracciato e le relative verifiche delle pendenze trasversali della piattaforma e delle distanze di sicurezza sono garantite. Qualora invece tale differenza supera il valore di 10km/h, ma rimane inferiore a 20km/h, l'infrastruttura si considera progettata ai limiti dell'accettabilità, e, benché il progetto si considera comunque sufficientemente coerente alla condizione di esercizio, sono suggeriti alcuni accorgimenti che incentivano la riduzione della velocità operativa dell'utenza. In particolare, sono suggeriti i seguenti interventi, [33]:

- imposizione di limiti di velocità tramite segnaletica verticale, dissuasori, o altri

strumenti di regolazione;

- modificare le pendenze di sopraelevazione in relazione alla V_{85} ed assicurare che il coefficiente di aderenza trasversale della pavimentazione sia corrispondente a quello richiesto per la stabilità del veicolo.

Nel caso in cui, invece, la differenza tra le velocità operative e di progetto superi il valore di 20km/h, si possono presentare situazioni di grave pericolo essendo il comportamento dell'utente discorde da quanto si è considerato in fase progettuale. In questo caso sono da prevedersi interventi importanti di riprogettazione dell'infrastruttura rendendo necessario uno studio che valuti, per la nuova configurazione, le velocità dell'utenza sugli elementi geometrici.

La valutazione di queste differenza di velocità dipende, come intuitivamente si può supporre, dalla attendibilità dei modelli previsionali della V_{85} . Errate predizioni di tali valori possono portare a delle conclusioni erranee e suggerire interventi potenzialmente inutili o, nel peggiore dei casi, non evidenziare eventuali difetti nella progettazione. Ad esempio, l'erronea previsione della velocità di progetto di soli 3-4km/h può determinare l'accettabilità, o l'inaccettabilità, del progetto che definisce l'infrastruttura, influenzando le condizioni di sicurezza. L'uso di un modello predittivo che sia coerente con la strada da analizzare e che fornisca velocità verosimili per tutti gli elementi geometrici, ossia sia valido per ciascun valore che assume il parametro caratteristico di riferimento, diventa determinante per la corretta applicazione del primo criterio di sicurezza di Lamm.

II.3.4.1.b - Safety criterion II

Il secondo criterio di sicurezza di Lamm analizza la coerenza del tracciato tramite il controllo delle differenze di velocità che si presentano tra elementi geometrici consecutivi. Le velocità considerate sono quelle relative alle curve circolari ed ai tratti rettilinei. Tramite questo confronto è possibile verificare se le condizioni di sicurezza attese sono simili a quelle determinate nelle differenti fasi progettuali e se si determinano adeguate risposte nel comportamento degli utenti nelle condizioni di esercizio: l'intera analisi è dipendente da dati predittivi della velocità. Dalla differenza delle velocità degli elementi, infatti, si ottengono delle indicazioni sulla omogeneità del tracciato: se tale differenza è inferiore a 10km/h, come per il Criterio I, il progetto si considera coerente e le velocità operative degli elementi che si susseguono variano con regolarità senza che esse siano soggette a brusche variazioni di valore.

In questa configurazione non sono necessari interventi sull'infrastruttura in quanto non vi sono, per l'utenza, condizioni di rischio che discendono da anomalie geometriche. Qualora invece tale differenza supera il valore di 10km/h, ma rimane inferiore a 20km/h, l'infrastruttura si considera progettata ai limiti dell'accettabilità. La sequenza degli elementi è tale che potrebbero verificarsi delle condizioni di sorpresa nell'utenza che potrebbero determinare una situazioni di rischio. In queste circostanze sono suggeriti degli interventi mitigatori del rischio al fine di non procedere alla riprogettazione del tracciato, [33], o al fine di ridurre le velocità operative sugli elementi. In particolare, sono suggeriti degli interventi simili a quelli previsti per il criterio I, ossia l'imposizione di adeguati limiti di velocità, tramite segnaletica, dissuasori o adeguata segnaletica informativa che permetta all'utenza di essere a conoscenza delle ridotte velocità richieste dagli elementi che si stanno per percorrere.

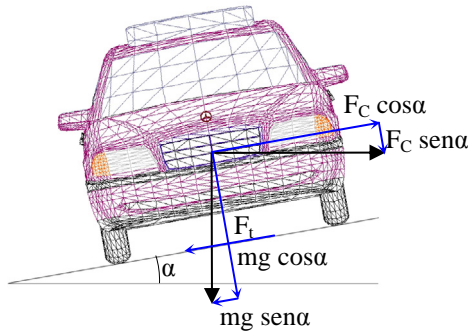
Nel caso invece in cui le differenze tra le velocità operative di elementi consecutivi superino il valore di 20km/h, si possono presentare situazioni di grave pericolo, essendo elevata la riduzione di velocità che l'utente deve attuare da elemento ad elemento. Tale condizione può provocare dei fenomeni di sorpresa che possono determinare condizioni di rischio per l'utente. In questi casi sono da prevedersi modifiche sostanziali che prevedano anche la riprogettazione di tratti di infrastruttura che siano coerenti con le aspettative dell'utenza che le andrà a percorrere. La valutazione di questa differenza di velocità dipende, come intuitivamente si può supporre, dalla attendibilità e dalla veridicità dei modelli previsionali della V_{85} . Per questo criterio di verifica, una variazione della V_{85} non coerente alle variazioni delle caratteristiche degli elementi geometrici (ad esempio CCR o r) può condurre a delle erronee conclusioni agendo direttamente sulle valutazioni della consistenza del progetto e delle relative V_{85} .

L'uso di modelli predittivi che siano coerenti sia alle caratteristiche globali della strada da analizzare, sia ai differenti intervalli di analisi dei parametri di input, è nuovamente determinante ai fini dell'attendibilità e della verosimiglianza dei valori ottenuti e per la corretta applicazione di tale criterio di sicurezza.

II.3.4.1.c - Safety criterion III

La valutazione della sicurezza proposta con questo metodo è espressamente legata alle condizioni di stabilità dinamica a cui è soggetto il veicolo in curva. Tramite l'assunzione di un modello di veicolo a punto materiale, coerente anche con [8], Lamm confronta i valori di

aderenza trasversale disponibili sull'infrastruttura e i valori richiesti dalle condizioni operative in cui si percorrono gli elementi. Per far ciò si utilizza l'espressione analitica che discende dallo studio del moto del veicolo in curva e l'analisi delle sue condizioni di stabilità rappresentando il veicolo con un punto materiale di egual massa (coincidente con il suo baricentro) come riportato in Figura II.19.



$$R = \frac{V^2}{127(q + f_T)} \Rightarrow f_T = \frac{V^2}{127R} - q$$

$$f_{TA} = \frac{V_d^2}{127R} - q \quad f_{TD} = \frac{V_{85}^2}{127R} - q$$

Figura II.19 - Condizioni di stabilità del veicolo in curva.

La differenza $f_{TA,i} - f_{TD,i}$, ossia la differenza tra aderenza trasversale disponibile e quella richiesta dalle condizioni operative, è funzione della V_{85} e definisce a sua volta tre livelli di progettazione in relazione ai limiti numerici esposti in II.3.4.1. Nel caso di inadeguatezza progettuale, in questo caso si può intervenire in differenti modi:

- ridurre la V_{85} con soluzioni analoghe a quelle suggerite per i precedenti criteri;
- ripavimentare la carreggiata in corrispondenza degli elementi geometrici in cui si verificano condizioni critiche, al fine di aumentare il valore di $f_{TA,i}$;
- intervenire sulle pendenze trasversali di piattaforma, adeguando il valore q alle velocità effettivamente adottate sull'elemento planimetrico in analisi.

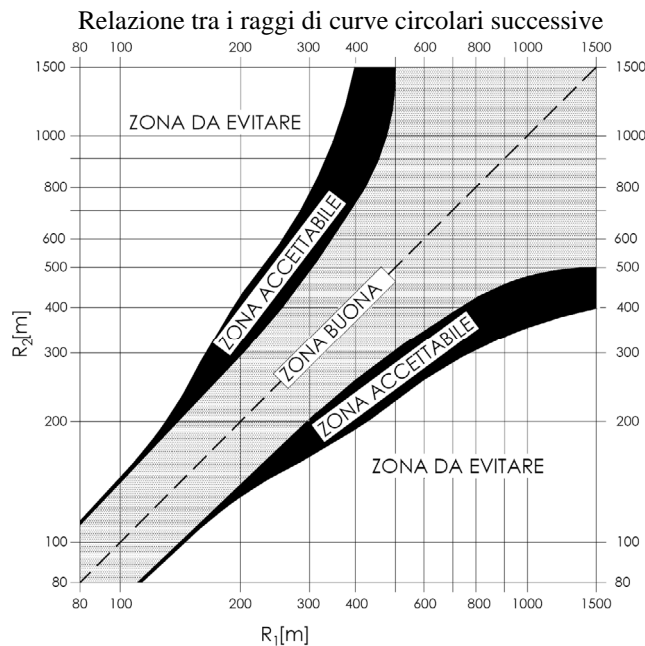
Adeguati modelli predittivi di V_{85} e corrette correlazioni tra aderenza trasversale e velocità sono determinanti per l'applicazione del criterio. Affinché i risultati siano attendibili la legge di variazione dell'aderenza trasversale deve essere riferita alle caratteristiche superficiali dell'infrastruttura analizzata.

II.3.4.2 - Criteri di consistenza della normativa italiana

Nella Normativa Italiana per la progettazione stradale esistono alcune imposizioni che riguardano la coerenza progettuale degli elementi geometrici nella loro successione. Alcune di queste imposizioni riguardano il confronto tra le caratteristiche geometriche degli elementi,

altre, invece, confrontano le loro caratteristiche cinematiche, ossia le velocità di percorrenza che si hanno su questi.

La coerenza tra le caratteristiche geometriche degli elementi si riferisce soprattutto alle relazioni tra curve circolari e rettilinei, mentre le verifiche sulle clotoidi sono dipendenti per lo più a questioni di natura dinamica. In particolare devono essere considerati i rapporti dimensionali riassunti in Figura II.20.



“I rapporti tra i raggi R_1 e R_2 di due curve circolari che, con l’inserimento di un elemento a curvatura variabile, si succedono lungo il tracciato di strade di tipo A, B, C, D e F extraurbane, sono regolati dall’abaco riportato in figura. In particolare, per le strade di tipo A e B detto rapporto deve collocarsi nella “zona buona”; per le strade degli altri tipi è utilizzabile pure la “zona accettabile”.

Tra un rettilifo di lunghezza L_R ed il raggio più piccolo fra quelli delle due curve collegate al rettilifo stesso, anche con l’interposizione di una curva a raggio variabile, deve essere rispettata la “relazione:

$$\begin{array}{ll} R > L_R & \text{per } L_R < 300 \text{ m} \\ R \geq 400 \text{ m} & \text{per } L_R \geq 300 \text{ m} \end{array}$$

Figura II.20 - Criteri di coerenza geometrica, [8].

Dalla costruzione del diagramma delle velocità, invece, è possibile considerare la consistenza della progettazione analizzando le variazioni di velocità in funzione delle caratteristiche degli elementi geometrici nella loro composizione. Tramite l’assunzione di una legge di moto uniformemente accelerato con una accelerazione/decelerazione di modulo 0.80m/s^2 si costruisce il diagramma delle velocità e si verifica se nel passaggio tra elemento ed elemento si violano i limiti di coerenza imposti: “Per $V_{pmax} \geq 100\text{km/h}$ (autostrade, strade extraurbane principali e secondarie) nel passaggio da tratti caratterizzati dalla V_{pmax} a curve a velocità inferiore, la differenza di velocità di progetto non deve superare 10km/h . Inoltre, fra due curve successive tale differenza, comunque mai superiore a 20km/h , è consigliabile che non superi i 15km/h . Per gli altri tipi di strade ($V_{pmax} \leq 80\text{km/h}$) nel passaggio da tratti caratterizzati dalla V_{pmax} a curve a velocità inferiore, la differenza di velocità non deve

superare 5km/h. Inoltre, fra due curve successive tale differenza, comunque mai superiore a 20km/h, è consigliabile che non superi i 10km/h.“

La similitudine tra le verifiche è evidente, la considerazione delle velocità connesse alla stabilità del veicolo in vece delle velocità operative specifica il metodo di verifica della coerenza progettuale. La velocità operativa rilevata è sempre maggiore della velocità limite imposta o della velocità di progetto, tranne laddove le caratteristiche altimetriche siano tali da limitarne il valore, [30]: i limiti di velocità, infatti, generalmente non hanno grande efficacia come strumento di moderazione immediata della velocità operativa, soprattutto nei tratti rettilinei. In particolare, dalle osservazioni sperimentali, [34] [35], risulta che la velocità operativa è tendenzialmente maggiore della velocità di progetto di circa 5km/h per le *Rural Roads*, arrivando anche a raddoppiarsi laddove la velocità limite è minore di quella di progetto, esiste inoltre diretta corrispondenza tra le dimensioni della piattaforma e la velocità attuata dall'utente. Da queste osservazioni risulta evidente che l'analisi della sola velocità di progetto non è sufficiente a garantire le condizioni di sicurezza per l'utente essendovi delle discrepanze importanti tra V_D e V_{85} , [36]: sarebbe quindi opportuno introdurre la velocità operativa per le verifiche di omogeneità del tracciato, [37]. Alcuni studi di ricerca, [38], hanno posto l'uguaglianza tra la velocità di progetto e il 95° percentile delle velocità assunte dall'utenza in condizioni di limitato flusso di traffico. La V_{95} è a sua volta determinata tramite specifici modelli predittivi.

II.3.4.3- Criteri di sicurezza alternativi

La valutazione della sicurezza stradale può essere condotta, come preannunciato nel paragrafo II.3.4, tramite metodi che si basano sull'osservazione diretta delle reazioni dell'utente agli stimoli che gli sono offerti dal contesto stradale in cui sta guidando. I metodi che saranno esposti nei seguenti paragrafi si basano sullo studio di queste reazioni tramite l'osservazione diretta dell'utente durante la guida, la misurazione e la registrazione delle sue reazioni ed una successiva valutazione del suo comportamento tramite una lettura critica dei risultati ottenuti, [39] [46]. Tali metodi forniscono un flusso dati continuo per la descrizione delle reazioni dell'utente, in quanto l'osservazione è effettuata tramite una strumentazione installata direttamente su veicoli sperimentali in marcia. Il vantaggio del monitoraggio continuo della risposta dell'utente è però mitigato dalla consapevolezza che ha l'utente di essere sottoposto al monitoraggio e la potenziale modifica comportamentale che esso può

avere in relazione a questa consapevolezza. Le tecniche che si andranno ad esporre sono frutto di recenti ricerche, benché i concetti alla base della loro formulazione siano studiati da qualche decennio. L'evoluzione tecnologica, la miniaturizzazione dei sensori e delle telecamere utilizzati nei monitoraggi e la corrispondente riduzione dei prezzi hanno favorito l'insorgere di sperimentazioni che analizzano la *Design Consistency* dal "lato dell'utente".

II.3.4.3.a - Mental Workload

Una geometria stradale coerente consente al conducente di attuare con precisione la corretta traiettoria da percorrere senza avere delle reazioni improvvise dovute a conformazioni inattese, limitando l'impegno richiesto per guidare il veicolo, la relativa capacità visiva richiesta e la quantità di elaborazioni delle informazioni desumibili dal tracciato. In queste condizioni di guida l'utente stradale può, quindi, dedicare la propria attenzione, e le proprie capacità, alla guida e alla pronta reazione in caso di presenza di ostacolo sulla carreggiata. L'impegno richiesto dalla attività di guida è definito *Mental Workload*, [39], [40], [41]. Il MWL può essere misurato tramite la valutazione della quantità di informazioni visive necessarie per soddisfare la domanda visiva (*Visual Demand*): la *VD* esprime la percentuale di tempo durante la quale un utente alla guida osserva la carreggiata. La *Visual Demand* è misurata tramite una tecnica di occlusione della vista effettuata con un visore a cristalli liquidi opaco indossato dal conducente, [39], che, a richiesta del guidatore, permette la visione della strada tramite la trasparenza del visore, come illustrato in Figura II.21.



Figura II.21 - Visore a cristalli liquidi per la misura della *Visual Demand*, [41].

I risultati sperimentali delle differenti ricerche dimostrano che non vi sono sostanziali differenze nella variazione di *VD* in funzione della curvatura dell'elemento percorso. Questa sostanziale coerenza tra i risultati delle sperimentazioni rende auspicabile un maggiore

impegno della ricerca per questa specifica valutazione della reazione dell'utente. Attualmente l'uguaglianza delle pendenze, ossia del grado di variazione della VD in funzione della curvatura, ma la sostanziale differenza tra i valori assoluti delle intercette di queste linee di tendenza con valori specifici di raggio di curvatura (ad esempio in corrispondenza dei rettilinei) indica che i livelli relativi di carico di lavoro possono essere paragonati e verificati reciprocamente, ma non tramite i loro livelli assoluti. I livelli di difficoltà di guida sono stati definiti in una scala di intensità MCH, *Modified Cooper-Harper Scale*, in funzione della Domanda visiva. In Figura II.22 sono anche riportate alcune curve che relazionano il Mental Workload al tasso di incidentalità ed alla qualità di guida.

Difficulty Level	Demand	Anchors	Rating
Very easy	No mental effort needed to drive	As easy as driving a straight, flat road	1
Easy	Little mental effort needed to drive		2
Little difficulty	Some mental effort needed to drive		3
Minor difficulty	Moderate mental effort needed to drive		4
Difficult	Considerable mental effort needed to drive	By concentrating you can steer a smooth path	5
Very difficult	High mental effort needed to drive		6
Major difficulty	Maximum mental effort needed to drive		7
Very major difficulty	Maximum mental effort needed to stay in lane		8
Almost impossible	Maximum mental effort needed to stay on road		9
Impossible	Cannot stay on the road	Curves are too sharp to stay on road	10

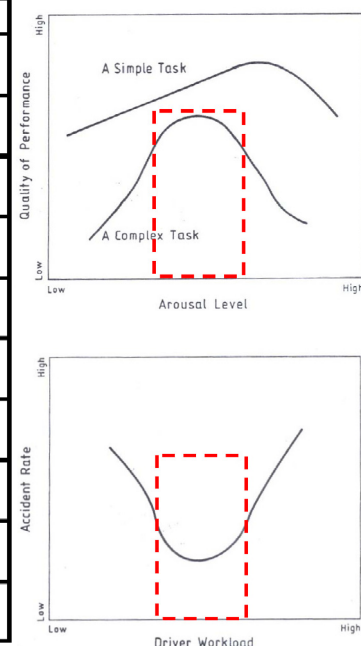


Figura II.22 - Valutazione del Mental Workload, [41].

Se l'attenzione richiesta al conducente aumenta, la possibilità che ha di impegnarsi in altre attività si riduce, inoltre la continua richiesta di impegno porta l'utente a subire un affaticamento in quanto aumenta il carico di lavoro mentale. Risulta allora necessario individuare se questo aumento di stress e lavoro può compromettere la sicurezza dell'utente. Al fine di valutare compiutamente le reazioni di un individuo alla guida differenti gruppi di ricerca hanno aumentato il numero di misurazioni effettuate durante le guide sperimentali, arrivando a monitorare il complesso delle funzioni vitali del conducente, come frequenza cardiaca, frequenza di chiusura delle palpebre, dilatazione delle pupille, contrazione

muscolare, attività elettrotermica e celebrale, [41], come ripresentato in Figura II.23.

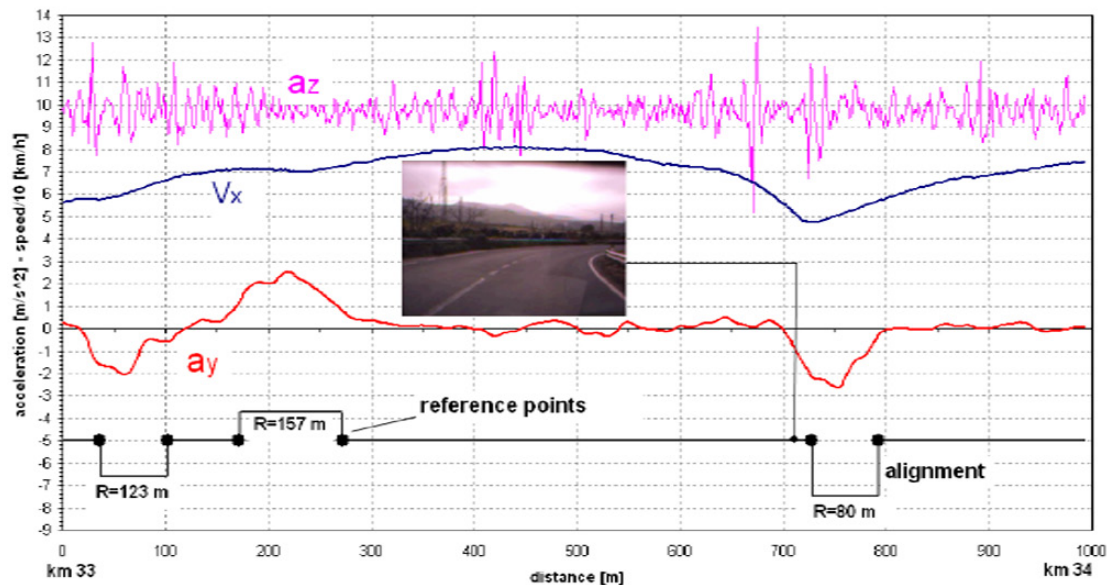


Figura II.23 - Dati di monitoraggio, [41].

L'acquisizione continua di dati potrebbe permettere, tramite una correlazione con le caratteristiche del tracciato, una valutazione più completa della condizione di guida dell'utente e la conseguente valutazione della condizione di sicurezza.

Altri approcci, [18], considerano una scala numerica di Workload da 1 a 6, per la quale all'aumentare del valore di riferimento aumenta l'inconsistenza del tracciato dal punto di vista dell'affaticamento. In questo modo progetti risultati consistenti con i metodi convenzionali possono risultare inconsistenti dal punto di vista dell'affaticamento dell'utente. L'uso del MW per valutare la consistenza dei tracciati stradali è molto più limitato dell'uso della velocità operativa a causa della maggiore difficoltà di ottenere dei dati sperimentali di partenza, [18].

II.3.4.3.b - Indici di valutazione della sicurezza

Differenti gruppi di ricerca hanno definito ulteriori parametri di valutazione della consistenza del tracciato stradale e della semplicità di guida che lo caratterizza. In particolare sono stati analizzati i movimenti oculari del conducente tramite delle riprese video effettuate durante delle guide sperimentali, [44]. La registrazione dei filmati e la successiva analisi delle immagini permette di effettuare il tracciamento del movimento oculare giungendo ad una misura quantitativa del comportamento dell'utente in risposta agli stimoli che esso incontra durante la guida. La successiva valutazione della quantità n_i di questi comportamenti

elementari (movimenti) e del tempo Δt_i impiegato per ciascuna azione critica ad essi connessa, permette il calcolo dell'indice VLI relativo al tempo Δt necessario per percorrere il tratto. Il risultato di tale espressione e l'attrezzatura necessaria per giungere a tali conclusioni sono riportati in Figura II.24.

Azioni Critiche	Comportamento elementare					VLI riferite alle Azioni Critiche
	Sguardo ciglio sx	Sguardo specchio sx	Sguardo dritto	Sguardo specchio centrale	Sguardo ciglio dx	
Sorpasso subito	0	1	0	1	0	4,769%
Sorpasso subito	0	1	0	1	0	4,616%
Sorpasso	1	1	0	0	0	11,511%
Curva a sinistra	1	0	0	0	0	4,444%
Attraversamento semaforo	0	0	1	0	0	6,369%
Intersezione con veicolo	0	0	0	0	1	1,695%
Canion fermo	0	0	0	1	1	4,576%
Sorpasso	1	1	0	0	0	8,868%
Ciglio sinistro	1	0	0	0	0	2,231%
Intersezione	1	0	0	1	1	6,723%
Sorpasso	1	1	0	0	0	2,492%
Verifica specchio retrovisore	0	0	0	1	0	0,555%
Curva a sinistra	1	0	0	0	0	1,322%
Dritto - verifica specchietto	0	0	1	1	0	6,455%
Curva a sinistra	1	0	0	0	0	2,432%
Curva a destra	0	0	0	0	1	2,892%
Curva a sinistra	1	0	0	0	0	3,534%
Curva a destra	0	0	0	0	1	2,930%
Sorpasso subito	0	1	0	1	0	15,740%
Curva a destra	0	0	0	0	1	5,746%
Intersezione	1	0	0	1	1	10,630%
Sorpasso subito	0	1	0	1	0	12,220%
Curva a sinistra - galleria	1	1	0	1	0	15,715%
Dritto	0	0	1	0	0	0,450%
Curva a destra	0	0	0	0	1	4,405%
Dritto	0	0	1	0	0	1,695%
Curva a sinistra - sorpasso subito	1	1	0	1	0	8,016%
$VLI_i = \frac{\Delta t_i \times n_i}{\Delta t}$						VLI totale 172,99%



Figura II.24 - Visual Load Index, [44].

Altri approcci comprendono la valutazione dell'incidentalità del tracciato stradale per la definizione di un indice di sicurezza, in *Safety Index*, [45]. Il *SI* esprime la performance di guida e la relativa sicurezza di un tratto di strada, in riferimento alle strade *Rural Roads* senza considerare su queste le intersezioni. L'espressione di questo indice è la combinazione delle tre componenti del rischio: l'esposizione degli utenti della strada ai rischi della guida (fattore di esposizione), la probabilità che il veicolo sia coinvolto in un incidente (fattore di frequenza incidentale) e le conseguenze che esso subirebbe in caso di incidente (fattore di gravità dell'incidente). La formulazione è allora la seguente:

$$SI = Esposizione \times Frequenza incidentale \times Gravità dell'incidente$$

Il fattore di esposizione è dato dal prodotto della lunghezza del tratto in esame ed il traffico giornaliero medio (*AADT*), mentre gli altri fattori sono determinati tramite delle valutazioni statistiche del contributo che le caratteristiche dell'infrastruttura forniscono all'incidentalità della strada.

II.3.4.3.c - Fuzzy logic

La verifica della consistenza progettuale tramite i criteri di Lamm genera valutazioni di sicurezza opinabili qualora gli intervalli delle velocità da valutare sono ai limiti dei valori massimi di accettazione definiti dal metodo. Le intrinseche imprecisioni dei modelli predittivi mal si conciliano con la deterministica definizione delle differenze massime definite da Lamm per i differenti livelli progettuali, determinando valutazioni potenzialmente incoerenti per lievi variazione dei parametri di input o dei valori di calibrazione. Per far fronte a questa valutazione discontinua della sicurezza stradale si è utilizzata la teoria della *Fuzzy logic* (o logica sfumata) per la quale si può attribuire a ciascuna proposizione un grado di verità compreso tra 0 e 1. La *FL* è una logica polivalente e pertanto è un'estensione della logica booleana, logica matematica convenzionale. Tale logica è legata alla teoria degli insiemi sfocati per la quale si definisce un grado di verità (o valore di appartenenza) in funzione di quanto è vera una determinata proprietà: essa può essere vera (ossia pari ad 1), falsa (ossia pari a 0) o pari a valori intermedi. Un adattamento di tale teoria al caso della *Design Consistency* è rappresentata in Figura II.25.

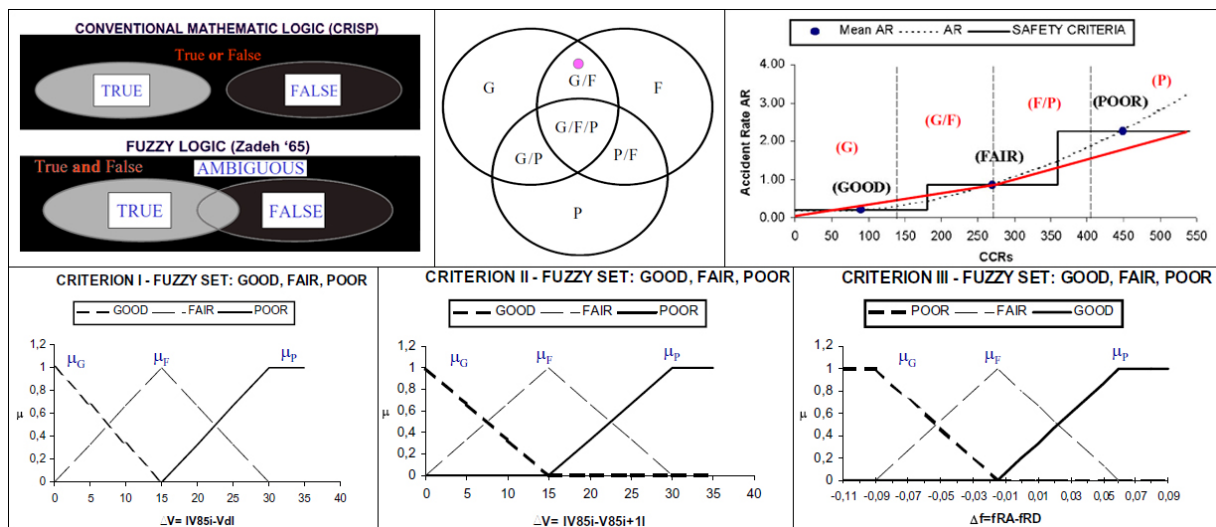


Figura II.25 - Fuzzy logic applicata alla design Consistency, [41].

Per ciascun criterio di Lamm, le incongruenze sono state inserite in tre insiemi fuzzy (buono, discreto, scarso) con diversi gradi di appartenenza. La definizione di funzioni di appartenenza lineari permette di classificare i tratti stradali e determinare una scala di priorità degli interventi di manutenzione. La procedura può essere applicata ad intere reti stradali per effettuare una identificazione degli elementi più pericolosi che necessitano di interventi

prioritari per il miglioramento della sicurezza stradale, [42].

II.3.5 - Conclusioni

La valutazione della coerenza progettuale e della coerenza delle caratteristiche dell'infrastruttura alle aspettative dell'utente richiede una rigorosa formalizzazione della risposta dell'utente agli stimoli che esso riceve dall'ambiente stradale. L'analisi della sua risposta sensoriale è affrontata da approcci come *MWL* o *VLI* che forniscono sì una visione completa e continua del comportamento dell'utente, ma sono basati su osservazioni dirette (ed invasive) che potrebbero modificare la risposta spontanea dell'utente. Le tecniche di rilievo della velocità, invece, se opportunamente occultate possono fornire delle informazioni più attendibili, benché ad acquisizione discreta. La successiva possibilità di modellazione del comportamento dell'utente permette di effettuare delle valutazioni sulla sicurezza tramite uno dei metodi precedentemente descritti, [25]. Altre tecniche di indagine del comportamento dell'utente impiegano ricostruzioni della strada in ambienti virtuali, [47], per poi valutare tramite dei simulatori di guida la risposta dell'utente alle caratteristiche della strada. Questo approccio, fornisce il vantaggio della standardizzazione del contesto di sperimentazione, ma ha lo svantaggio di osservare la risposta in un ambiente ricostruito, in cui è difficile garantire la perfetta corrispondenza tra le caratteristiche del tracciato e della vettura sul quale l'utente affronta il test e l'analoga configurazione nel contesto reale. Opportune procedure di validazione possono limitare le discrepanze dei risultati. L'approccio nel contesto reale per lo studio delle velocità rimane quello più attendibile.

II.4 - Road Safety Audit

II.4.1 - Premessa

Le gravi ripercussioni sociali avutesi nel tempo a causa dell'incidentalità sulle infrastrutture stradali ha determinato l'ideazione e l'introduzione di particolari procedure di controllo sulla qualità e sulla sicurezza dei potenziali contesti incidentali. I primi paesi ad ideare le procedure di sicurezza per il controllo delle strade sono stati Regno Unito [48], Nuova Zelanda [49] e Australia [50].

La definizione iniziale del *Road Safety Audit Program* è stata effettuata nel Regno Unito all'inizio degli anni ottanta, mediante l'adattamento, all'ambito stradale, dell'insieme delle procedure di sicurezza utilizzate nel contesto ferroviario. Tali impostazioni sono state poi recepite e perfezionate in alcuni paesi dell'Oceania, in particolare dall'Austroads, l'ente australiano dei trasporti. Questo processo di sviluppo e perfezionamento delle procedure di analisi delle infrastrutture ha dato vita nel 1994 ad un manuale di sicurezza stradale, [50], che ha posto le basi per la valutazione delle infrastrutture australiane ed internazionale, elencando una serie di requisiti ed aspetti causa dell'insorgere di sistematiche condizioni incidentali. Questo studio è stato poi approfondito dall'americana FHWA (*Federal Highway Administration*): tramite delle campagne d'indagine mirate, effettuate in Australia e Nuova Zelanda, sono state visionate le tecniche di applicazione delle procedure descritte nel manuale RSA nei due contesti nazionali. Il successivo resoconto di queste osservazioni ha poi dato vita negli Stati Uniti al filone di ricerca specializzato in sicurezza stradale ed in procedure di indagine. La stessa sensibilità al tema della sicurezza è stata dimostrata dalla Nuova Zelanda, che tramite degli studi sperimentali condotti nei primi anni novanta ha sviluppato le attuali procedure di controllo applicate a livello nazionale.

L'approccio sistematico nella valutazione oggettiva delle condizioni di sicurezza su una infrastruttura stradale è reso necessario dall'evidente incongruenza tra condizioni di sicurezza attesa al termine della progettazione stradale e stato di sicurezza reale sulla infrastruttura stradale. Risulta altresì evidente che se in taluni casi, o in taluni contesti, si vengono a creare delle condizioni di insicurezza per l'utente nonostante la progettazione dell'infrastruttura sia stata condotta nel rispetto delle prescrizioni normative, l'interpretazione delle soluzioni progettuali non è tale da permettergli di percorrere la strada in sicurezza.

Questa condizione non può che trovare spiegazione nella mancata corrispondenza tra le aspettative della norma riguardo il comportamento degli utenti e la reale reazione di questi alla guida. La necessaria genericità delle disposizioni normative fa sì che esse siano applicabili in differenti contesti di applicazione, ma l'eterogeneità della composizione dell'utenza stradale e le differenti specifiche abitudini di guida a volte inficia l'efficacia delle disposizioni generali. Le procedure di controllo, che verranno esplicitate nei paragrafi seguenti, hanno quindi la funzione di valutare l'efficacia delle soluzioni progettuali proposte.

II.4.2 - Fasi e contesto applicativo.

In generale, nessun progettista (o ente gestore) progetta (o manutiene) un'infrastruttura con l'esplicita volontà di creare delle situazioni di pericolo per l'utente. Nonostante questa evidente ovvietà, sono molteplici i casi in cui le tematiche sulla sicurezza perdono priorità a favore di tematiche tecniche, economiche o politiche. L'utente finale della strada si trova quindi spesso a scontare in prima persona gli effetti negativi di lacune progettuali o di sistemazione carenti della strada dovute ad approcci progettuali approssimativi. È opportuno quindi che ciascuna caratteristica stradale sia controllata da personale specializzato in modo che possano essere effettuati controlli dettagliati e pertinenti sullo stato di pericolosità della strada in esame. Queste procedure sono formalizzate in tre differenti condizioni di indagine, [60]. Si definiscono quindi le procedure di *Road Safety Audit*, di *Road Safety Review* e di *Road Safety Inspection*. Le procedure di *RSA* riguardano il processo di controllo che interessa le strade in progetto, in generale non ancora realizzate. Le procedure di *RSR* sono invece destinate a strade esistenti e sono quelle che generalmente forniscono dei risultati più tangibili in quanto sono applicate ad infrastrutture già interessate da traffico veicolare e di cui si conoscono i valori di incidentalità. Le *RSI* si riferiscono invece alle attività di monitoraggio delle strade in esercizio.

Queste procedure sono spesso determinanti per quelle località in cui vi è un incremento sostanziale del numero di incidenti, scatenato da vizi importanti dell'infrastruttura. Queste porzioni di strada sono dette *punti neri* e la loro presenza può verificarsi anche su strade per le quali sono verificati tutti i normali standard progettuali. La determinazione dello specifico fattore, o della sinergia di fattori, che induce un incremento localizzato degli eventi incidentali in un *punto nero* è materia molto delicata. Spesso la causa

di un incidente è da attribuire alle difficoltà che l'utente riscontra nell'interpretazione dello scenario stradale che si appresta ad affrontare: l'utente può quindi fornire una risposta inadeguata, ed inattesa, a delle specifiche condizioni che si creano durante la guida, o a delle specifiche caratteristiche dell'infrastruttura, che una normale analisi *a priori* non evidenzia. Le analisi di sicurezza in esame possono dunque supplire a questa mancanza, permettendo di individuare le condizioni di rischio potenziale tramite una valutazione critica delle condizioni operative della strada, effettuata tenendo conto della percezione e dell'interpretazione che ne ha l'utente.

I differenti contesti, urbano o extraurbano, specificano molto l'insieme di aspetti che il tecnico, l'ingegnere, deve analizzare al fine di determinare la causa di incidente. La geometria stradale, la visibilità o lo stato manutentivo della pavimentazione assumono maggiore importanza in ambito extraurbano rispetto allo stato della segnaletica orizzontale o alla folta presenza di illuminazione artificiale. In ambito urbano invece la situazione è inversa, la riconoscibilità di segnaletica orizzontale e verticale e la presenza di illuminazione artificiale sono di enorme rilievo se si considera la composizione spiccatamente eterogenea dell'utenza stradale.



Figura II.26 - RSR in ambito urbano: confronto *Before-After* su un incrocio semaforizzato [51].

Per ciascun contesto di indagine è quindi necessario valutare separatamente le differenti caratteristiche dell'infrastruttura, attribuendo loro un differente peso nella valutazione della probabilità incidentale in relazione allo specifico contesto di studio. Le indagini possono riguardare intere strade, porzioni di queste o punti notoriamente più interessati da fenomeni incidentali, ossia le intersezioni. L'analisi può estendersi anche a zone di sosta o di interscambio in cui le manovre dei veicoli pongano in essere delle specifiche condizioni di pericolo.

Va osservato che se la procedura di controllo è contestuale alla fase di progetto, ossia se il progettista pone in primo piano l'aspetto della sicurezza stradale e l'interpretazione che l'utente ha delle scelte progettuali, la successiva fase di *RSA* diviene superflua. Spesso, purtroppo, si delineano invece delle condizioni tali per cui la progettazione tecnica è ripartita tra i differenti specialisti di genere, i quali non hanno la possibilità di avere una visione d'insieme delle scelte progettuali, essendo queste sviluppate contemporaneamente, ma separatamente, dai differenti soggetti coinvolti. Invece coloro i quali risiedono ai vertici decisionali hanno sì una visione d'insieme del progetto in fase di sviluppo, ma sono meno sensibili a tali problematiche, avendo generalmente delle mansioni prettamente organizzative e mancando di una specifica competenza delle problematiche progettuali di settore. In questi contesti di progettazione diviene essenziale valutare il progetto dell'infrastruttura nella sua interezza, a valle dell'insieme delle scelte progettuali di ciascun settore di studio.

II.4.3 - Procedure di analisi

Uno dei risultati più positivi attribuibile alla formalizzazione del *Road Safety Audit* è la consapevolezza dei progettisti che il risultato del processo progettuale sarà interessato da un'indagine successiva che ne validerà le scelte dal punto di vista della sicurezza. Tale consapevolezza spesso trae spunto, per la sua formazione, dalla elencazione degli specifici aspetti monitorati durante le fasi ispettive. Le liste di controllo diventano quindi un vero e proprio supporto progettuale che si affianca alle disposizioni contenute nella norma di riferimento e che permette al progettista di apportare gli accorgimenti della sicurezza prima che la revisione sia effettuata. Alcune di queste sono riportate in *Appendice A* in riferimento ad alcune nazioni che applicano i metodi di controllo della sicurezza stradale.

Le procedure di analisi definiscono un esame formale dell'infrastruttura, che la coinvolge nella sua fase progettuale, nella fase di realizzazione o di esercizio. L'esame è effettuato da un qualificato gruppo di esaminatori che, a valle dell'indagine, individua potenziali pericoli di incidente e definisce le prestazioni dell'infrastruttura in termini di sicurezza. Le procedure di indagine sono evidentemente molto differenti a seconda della fase in cui esse devono intervenire. Mentre nei casi di *Road Safety Audit* le fasi di controllo non possono che esplicarsi in laboratorio tramite l'analisi degli elaborati che caratterizzano l'infrastruttura, in caso di strade esistenti, *Road Safety Review*, l'indagine si esplica

direttamente sull'infrastruttura, tramite un'indagine visiva da parte di un gruppo di controllo. I membri di questo gruppo devono rispondere a requisiti particolari, come di seguito riassunto.

II.4.3.1 - Gruppi di controllo

Se si dovesse formalmente esplicitare la funzione che il gruppo di controllo ed indagine ha nella compilazione delle *check lists*, si dovrebbe asserire che “i soggetti costituenti i gruppi di indagine si propongono di schematizzare ed analizzare oggettivamente e quantitativamente ciò che soggettivamente l'utente percepisce nel contesto reale di marcia”. A prescindere dal gioco di parole, intenzionalmente contorto, si vuol portare in primo piano il delicato ruolo che i gruppi di indagine hanno nella valutazione della sicurezza. Essi intervengono laddove le disposizioni oggettive delle norme di progettazione perdono efficacia nei confronti della interpretazione soggettiva degli utenti stradali. Il punto di forza di queste procedure è, quindi, proprio la specifica attitudine che questi gruppi hanno nell'introdurre quella componente di valutazione soggettiva che è mancata in fase di progetto e che, se mancante anche in ambito operativo, può generare delle situazioni di pericolo. Questo punto di forza, però, è anche il punto debole del metodo in esame. Questo è reso evidente anche dal fatto che il gruppo è guidato nella procedura di analisi da una impostazione formale, proprio per far fronte alla possibile eterogenea composizione dei gruppi di indagine e alle potenziali differenti impostazioni che questi potrebbero dare all'analisi. Nonostante questa precauzione, le conclusioni possibili, al termine del processo di indagine, sono strettamente dipendenti dalla composizione dei gruppi e sensibilmente influenzate dalle competenze di ciascun membro.

Affinché il processo sia attendibile è necessario quindi che la procedura sia ripetibile e che essa fornisca dei risultati il più possibile univoci. Per assicurare tale risultato è necessario definire dei requisiti base che deve possedere ciascun elemento del gruppo di ispezione, requisiti che vanno dalla professionalità alla competenza. La necessità di un certo livello di formazione ed esperienza è richiesto al fine di rendere veritiero il risultato dell'indagine. In alcuni stati, ad esempio l'Australia [52], esistono degli specifici requisiti che accreditino i tecnici come *Road Safety Auditor* o *Road Safety Auditor Senior* in uno specifico “albo” professionale che permetta loro di far parte o guidare dei gruppi di ispezione di sicurezza stradale. In particolare essi devono possedere:

- minimo di cinque anni di esperienza in progettazione stradale, ingegneria del traffico, o

in disciplina strettamente legate alla sicurezza stradale;

- partecipazione a specifici corsi di formazione approvati e riconosciuti dalle autorità statali;
- certificare il mantenimento dell'esperienze nel controllo della sicurezza stradale.

Per il profilo di R.S.A. senior è invece richiesta in aggiunta la partecipazione ad almeno cinque controlli di sicurezza stradale sotto la guida di un revisore senior.

La competenza in sicurezza stradale è infatti principalmente basata sull'esperienza diretta. Le indagini sulle cause incidentali e l'ideazione di specifici rimedi correttivi richiede una certa pratica operativa; essa permette poi al professionista di applicare tale esperienza nella progettazione o nella verifica di nuovi progetti.

Altre esperienze, [53], suggeriscono la contemporanea ispezione di differenti gruppi di lavoro, composti da almeno tre persone che abbiano differenti approcci e competenze. Il team deve essere quindi composto da persone di diversa estrazione professionale in modo da raggiungere un livello di analisi più completo ed esaustivo possibile. È infatti auspicabile la maturazione di idee che nascano dal confronto propositivo dei membri della squadre. Qualora la squadra sia composta da più di tre membri, solo alcuni di questi parteciperanno fisicamente all'indagine, i rimanenti analizzeranno il rapporto d'ispezione e analizzeranno i documenti visivi del sopralluogo.

I requisiti principali del team devono essere altresì l'indipendenza e la qualificazione professionale: in particolare i gruppi di ispezione non devono essere coinvolti nella progettazione dell'infrastruttura da esaminare o nella sua gestione. Questi aspetti sono determinanti sia per potenziali conflitti di interesse, che potrebbero viziare il risultato finale dell'indagine, sia per garantire che i problemi connessi alla sicurezza siano analizzati da punti di vista estranei al processo progettuale, al fine di evitare che tecnici pienamente a conoscenza del progetto propendano a sottovalutare le familiari caratteristiche della strada. La competenza professionale è vitale per la buona riuscita del processo, l'efficacia di questo si basa infatti sulle esperienze e sulla pratica professionale del gruppo di indagine, aspetti chiave per la definizione delle raccomandazioni e degli interventi suggeriti per eliminare o ridurre le cause che provocano il verificarsi di incidenti stradali. Sono da preferire gruppi composti da individui con competenze multidisciplinari: esperti di progettazione stradale, di pianificazione del traffico, di segnaletica, dei dispositivi di sicurezza, della protezione delle utenze deboli,

dei fattori umani, delle applicazioni telematiche, e così via.

In talune esperienze, [53], il gruppo di ispezione si avvale della collaborazione del richiedente l'indagine. Questa partecipazione è finalizzata alla migliore conoscenza delle caratteristiche dell'infrastruttura, infatti il responsabile di questa è generalmente in possesso di informazioni approfondite sulla natura del sito, sulle procedure di manutenzione applicate e sugli eventuali interventi di risanamento già attuati sull'opera. Il responsabile ha inoltre il vantaggio di interagire con il gruppo di ispezione ed acquisire una migliore comprensione dei motivi tecnici alla base delle problematiche incidentali riscontrate.

II.4.3.2 - Aspetti operativi

Il compito dei gruppi di controllo è quindi individuare sull'infrastruttura eventuali problemi di sicurezza che possano interessare una delle differenti tipologie di utenti, progettando gli interventi risolutivi che massimizzino, anche dal punto di vista economico, la sicurezza intrinseca dell'infrastrutture. Il gruppo di indagine deve quindi interpretare l'infrastruttura dal punto di vista dell'utente, mantenendo al contempo una valutazione critica e competente delle cause che determinano eventuali anomalie. Oltre alle caratteristiche fisiche dell'infrastruttura è necessario considerare anche le caratteristiche dell'utenza che la interessa, dalla composizione del traffico alle velocità di percorrenza. Alcune recenti ricerche, [53], suggeriscono delle fasi operative di controllo da attuare per l'indagine di sicurezza sulle infrastrutture. Questo approccio operativo colma per certi versi la genericità di talune impostazioni di indagine, che esauriscono sì il numero di aspetti da analizzare nella valutazione delle gli aspetti, ma che non formalizzano le procedure di indagine che i gruppi devono espletare.

Le ispezioni in sito sono suddivise in tre fasi operative successive che prevedono tre sopralluoghi distinti di differente dettaglio, [53]. Un primo sopralluogo, definito *Ispezione preliminare*, è effettuato su tratti di strada molto estesi, ma comunque non più lunghi di 100km. L'ispezione è effettuata in differenti orari (al fine di determinare le caratteristiche generali dell'infrastruttura in differenti condizioni operative) ed è effettuata a velocità normale, ossia quella del flusso che normalmente adotta il flusso veicolare ordinario. Questa prima fase è effettuata con veicoli ad alto rendimento che, tramite l'ausilio di GPS e videocamere, acquisiscono ed archiviano le informazioni base dell'infrastruttura, tra cui inserimento territoriale e conformazione dell'ambiente stradale. La strada è esaminata in

entrambi i versi di percorrenza da almeno tre membri del gruppo di controllo. I rimanenti componenti del gruppo hanno in questo modo la possibilità di visionare il materiale video dell'ispezione e di ascoltare i commenti audio registrati all'atto del sopralluogo.

Successivamente si procede all'*Ispezione generale* che è condotta con una velocità massima di 30km/h ed interessa tratti di strada estesi non più di 30km. L'ispezione è effettuata in orario diurno ed ha la finalità di acquisire le prime informazioni strettamente relative all'analisi di sicurezza. Determinante in questa fase è l'ausilio delle *liste di controllo*, cfr. *Tabella A.25* e *Tabella A.26*, che devono essere compilate dagli ispettori per tratti di strada di lunghezza massima pari a 100m. Anche per questa fase di sopralluogo è richiesto l'ausilio di videocamere che documentino l'ispezione e che permettano di compilare alcune parti delle liste di controllo in laboratorio, in una fase successiva.

A completamento dell'indagine si effettua un'ultima analisi, la più approfondita, l'*Ispezione dettagliata*. Il sopralluogo è effettuato in ore diurne e deve essere differenziato a seconda che si analizzino tronchi stradali o intersezioni. In questa fase di dettaglio sono necessari differenti strumenti che permettano di effettuare delle misurazioni quantitative, come rotella metrica, distanziometri laser, inclinometri ed eventuali strumenti per il monitoraggio delle condizioni operative del flusso veicolare circolante, come pistole laser e contatori di traffico. Le ispezioni sono condotte a velocità molto ridotta arrivando anche a fermare il veicolo laddove l'interpretazione della problematica di sicurezza lo richieda.

Sono altresì condotte delle *Ispezioni notturne* necessarie per aggiungere all'analisi l'interpretazione delle condizioni di sicurezza che offre la guida notturna sull'infrastruttura in esame.

Il risultato finale di questo genere di ispezioni è la redazione di un documento conclusivo in cui sono contenute le problematiche riscontrate e le soluzioni proposte per far fronte al localizzato scadimento della sicurezza. La caratteristica peculiare di questo approccio di verifica è la rapidità di esecuzione che può far pervenire a delle considerazioni conclusive in un periodo di test di limitata estensione, da 3 a 7 giorni. Questa celerità, unita alla semplicità del procedimento (ed al relativo basso costo di indagine), offre la possibilità di estendere questi controlli a porzioni molto estese di strada.

II.4.4 - Conclusioni

L'approccio tradizionale nella valutazione della sicurezza stradale è focalizzato sulla risoluzione *a posteriori* delle problematiche che generano una ripetizione sistematica di eventi incidentali. Per l'identificazione dei siti che presentano un elevato rischio incidentale risulta quindi necessario poter osservare dei fenomeni incidentali, che poi permettano di adottare delle contromisure atte ad eliminarli. Questo tipo di approccio è definito "reattivo", i rimedi alla elevata incidentalità sono quindi valutati solo in seguito ad un'alta concentrazione di incidenti.

Le procedure di *Road Safety Audit* sono invece finalizzate a valutare la sicurezza stradale prima che i fenomeni incidentali vengano a crearsi definendo così un approccio "preventivo" che determini *a priori* le possibili localizzazioni degli eventi incidentali sistematici definendo gli interventi che hanno lo scopo di ridurre la numerosità.

I problemi di sicurezza sono quindi considerati durante o subito dopo la fase progettuale, o, in caso di strade esistenti, all'atto di valutazione della stessa.

Questa tipologia di approccio è stata suggerita dalla considerazione di tre aspetti fondamentali:

- gli incidenti sono eventi casuali;
- i fattori di incidentalità possono essere valutati anche senza statistiche incidentali;
- l'eliminazione dei punti neri dipende dalla qualità delle statistiche incidentali.

La quantità e la qualità di tali statistiche è purtroppo molto scarsa.

I metodi esposti hanno quindi la finalità di riqualificare le strade esistenti, sottoponendole agli stessi dettami di sicurezza che hanno indotto l'evoluzione normativa degli ultimi anni. L'aumento dei volumi di traffico e la relativa mancata prontezza nell'adeguamento delle infrastrutture, come discusso nel *Capitolo I*, hanno provocato un aumento delle problematiche di sicurezza, che spesso degenerano in incidenti stradali. Risulta allora determinante valutare appieno l'entità di tale problematica, considerando l'effettiva influenza che determinati aspetti inducono sulla percezione degli utenti stradali. Tale valutazione è però molto influenzata dalla conformazione e dall'esperienza del gruppo di indagine, che, seppur guidato dalla elencazione degli aspetti da analizzare, può giungere a delle valutazioni non completamente univoche. L'obiettivo finale risulta essere quindi lo sviluppo ed il perfezionamento di tali tecniche di indagine e l'applicazione dello stesso alla

totalità delle strade esistenti o di nuova realizzazione, minimizzando le cause degli incidenti e riducendo il numero di questi. Risulterebbe infatti utopico l'obiettivo di azzerare il numero di incidenti stradali, essendo questi dipendenti anche da fenomeni aleatori incontrollabili strettamente legati al comportamento spontaneo degli utenti alla guida.

Il risultato immediatamente conseguibile è allora sensibilizzare i progettisti ed i tecnici a queste tematiche, formando gruppi di controllo specializzati o considerandole contestualmente alle fasi di progetto. A questo proposito il Governo Italiano ha recepito la 2008/96/CE nel mese di giugno 2010: essa avrà piena attuazione entro il 19 dicembre 2011. Successivamente, dal dicembre 2013, le fasi di ispezione e controllo delle infrastrutture stradali e la valutazione della sicurezza potranno essere effettuate solamente da tecnici in possesso di apposita certificazione europea. Nella direttiva è altresì introdotta la valutazione della sicurezza dell'infrastruttura in relazione ai flussi su essa circolanti invece che sulla lunghezza del tratto analizzato: in base a questa analisi sarà possibile effettuare una classificazione dei livelli di sicurezza stradale.

Capitolo III

-

SICUREZZA STRADALE: STRUMENTO D'ANALISI PROPOSTO.

III.1 - Premessa

Le teorie esposte nel capitolo precedente descrivono in maniera completa, anche se dissociata, i fenomeni alla base del comportamento dell'utente stradale come risposta agli stimoli che egli riceve durante la guida del veicolo. Come descritto, la teoria della *Risk Homeostasis Theory* studia le reazioni comportamentali dell'utente da un punto di vista socio-psicologico in modo prettamente qualitativo, mal conciliandosi con la necessità di giungere a dati quantitativi che descrivano il livello di qualità dell'infrastruttura (e la coerenza della progettazione di questa) in riferimento alle sue condizioni operative. La teoria *Design Consistency* risulta, invece, essere direttamente applicabile avendo l'indubbio vantaggio di fornire valutazioni quantitative della sicurezza che discendono dalla misurazione e dall'analisi di determinati aspetti comportamentali dell'utenza. Le procedure di *Road Safety Audit*, viceversa, descrivono minuziosamente tutte le caratteristiche dell'infrastruttura, fornendo un giudizio complessivo sulla sicurezza dell'infrastruttura. Di seguito saranno utilizzate e combinate alcune delle caratteristiche di pregio dei differenti approcci, al fine di perfezionare gli strumenti proposti e riassumere in un'unica procedura di analisi la valutazione della sicurezza di una infrastruttura in esame infrastruttura.

III.2- Aspetti quantitativi omeostatici

L'analisi della reazione degli utenti ai mutamenti delle caratteristiche dell'infrastrutture è uno degli aspetti trattati dalla teoria della *Risk Homeostasis Theory*. L'analisi quantitativa dell'adattamento della reazione dell'utente alle caratteristiche geometriche della strada può essere accostata al concetto di velocità ambientale, descritto nel capitolo precedente. In Figura II.9 si è evidenziato uno degli aspetti critici della definizione

dei tratti a geometria globale omogenea, funzione delle variazioni delle deviazioni angolari assolute cumulate. Tale criticità che risiede nella mancata considerazione dell'influenza della tratto appena percorso dall'utente nella valutazione della sua velocità desiderata. La teoria *RHT* sancisce quanto è suggerito dalla comune esperienza di guida, ossia la tendenza che ha l'utente stradale a calibrare il proprio comportamento in funzione di ciò che ha influito sulla sua esperienza di guida nell'ultimo tratto trascorso.

Si è precedentemente commentato quel fenomeno di “sfasamento” che intercorre tra la variazione del contesto di guida e la relativa variazione dell'adattamento che l'utente attua alla guida, paragrafo II.2.4. Tale adattamento graduale non trova riscontro nella definizione della velocità ambientale (per tratti omogenei di strada) presente in letteratura e descritto nel paragrafo II.3.3.3. È necessario quindi analizzare il fenomeno di adattamento, in corrispondenza delle variazioni delle caratteristiche geometriche globali della strada, considerando che, se l'utente non è abituale, la costituzione geometrica della strada non risulta nota. È quindi plausibile che esso tenda spontaneamente alla velocità ambientale suggeritagli dalla porzione di tracciato appena trascorsa, anche se questa risulta avere delle caratteristiche globali che differiscono dalla natura geometrica del tratto che sta percorrendo. Nell'esempio di Figura III.1 è evidenziata, per entrambi i versi di percorrenza, la latenza dell'adattamento dell'utente alle condizioni “globali” del tracciato.

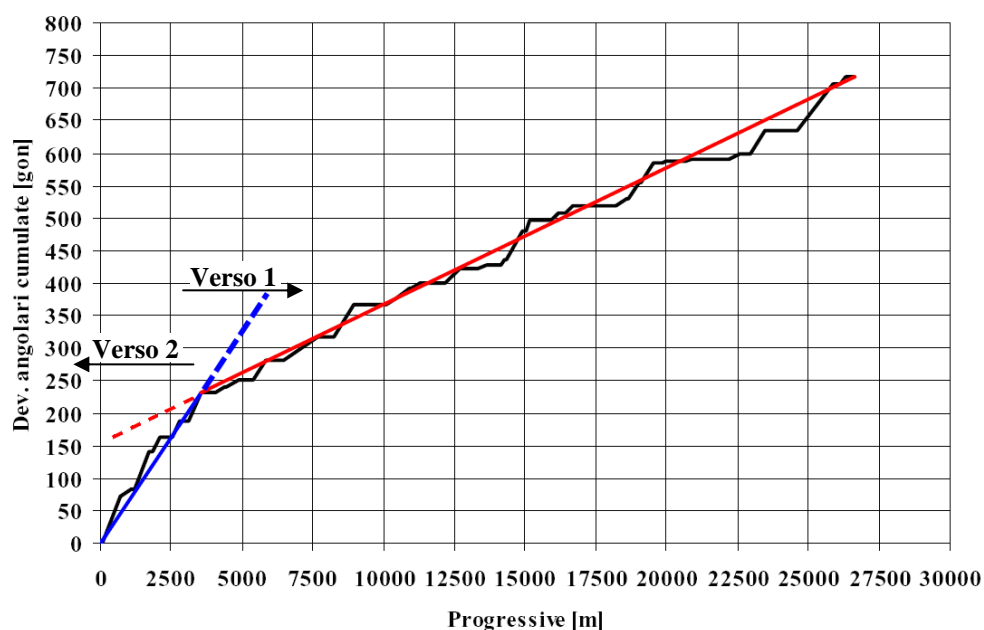


Figura III.1 - Velocità ambientale - Latenza dell'adattamento alle condizioni geometriche.

Per il verso di percorrenza 1, nella prima fase di percorrenza del tratto omogeneo rappresentato in rosso, l'utente tenderà alla velocità ambientale che caratterizza il precedente tratto rappresentato in blu. Nel verso di percorrenza 2, per analogia, l'utente avrà la tendenza ad assumere sui tratti geometricamente meno vincolanti una velocità dipendente fondamentalmente dalla natura del tratto appena percorso, ossia il tratto in rosso. È anche lecito supporre che la velocità di adattamento dell'utente sia diversa per i due differenti versi di percorrenza dell'infrastruttura: la geometria stradale più vincolante, infatti, indurrà all'utente una più solerte attuazione delle modifiche comportamentali necessarie a fornirgli una percezione di rischio minore.

Per modellare tali variazioni comportamentali indotte dalla geometria si è utilizzato un modello di velocità ambientale di natura adattiva, che valutasse, per i differenti versi di percorrenza, la natura geometrica dell'ultima porzione di tracciato percorsa dell'utente e regolasse su questa la stima della velocità ambientale desiderata dal campione di utenti. Con questo approccio si intende formalizzare quantitativamente l'aspetto di adattamento "spaziale" del comportamento dell'utente descritto nel paragrafo II.2.2.2, adattamento che avviene lungo la percorrenza del tracciato stradale da parte dell'utente. I parametri di calibrazione del modello che si esporrà nel paragrafo successivo sono considerati alla stregua di costanti numeriche. Se questi parametri fossero descritti da funzioni temporali si potrebbe considerare anche la variazione della risposta del campione di utente in analisi effettuate in differenti istanti temporali. Tale analisi, tuttavia, non è stata affrontata in quanto necessiterebbe un insieme di dati sperimentali molto dettagliato e numeroso, che permetta non solo di apprezzare le variazioni comportamentali dell'utente in risposta alla costanza degli stimoli che esso riceve dall'infrastruttura, ma anche di poter disaccoppiare tali effetti dalle naturali modifiche che potrebbe subire il parco veicoli circolante. Sarebbe altresì necessario poter identificare le sole utenze abituali per poter valutare le loro modifiche comportamentali.

Per le difficoltà di natura operativa insite in queste valutazioni ci si è soffermati, in questa prima fase di ricerca, alla valutazione delle variazioni "attuali" del comportamento dell'utenza indotte dalla evoluzione della geometria. Si è cercato di effettuare una sorta di "istantanea" della risposta dell'utenza e trarre delle prime informazioni sulle relazioni che regolano il fenomeno di adattamento "spaziale" del comportamento dell'utente, valutabile successivamente nella sua evoluzione "temporale" tramite una ri-calibrazione dei parametri o

tramite la definizione delle leggi temporali che li governano.

III.3 - Velocità ambientale adattiva - Modello predittivo

Il modello predittivo della velocità ambientale adattiva, V_{AMB} , è stato formalizzato partendo da due ipotesi base. La prima ipotesi riguarda la congruenza del modello con il “patrimonio” sperimentale rappresentato dai modelli consolidati della letteratura scientifica. Mancando infatti una base sperimentale sufficientemente estesa che permettesse di effettuare delle ipotesi generalizzabili sulla natura del comportamento dell'utente, per la formalizzazione del modello si è ritenuto opportuno imporre che per porzioni omogenee di tracciato la velocità del modello V_{AMB} tendesse a quella fornita dai modelli di letteratura per tratti di strada caratterizzati da analoga geometria. Ciò è stato reso possibile disaccoppiando la formalizzazione della velocità “asintotica” del modello V_{AMB} dalla formalizzazione della sua variazione rispetto alle geometria dell'ultima porzione di tracciato. In Figura II.2 è rappresentato un esempio di variazioni di velocità ambientale nel tratto spaziale di adattamento, denominato L_{last} , dai valori caratterizzati le porzioni di strada precedenti (con diversi CCR_G) al valore di velocità ambientale relativo al CCR_G finale.

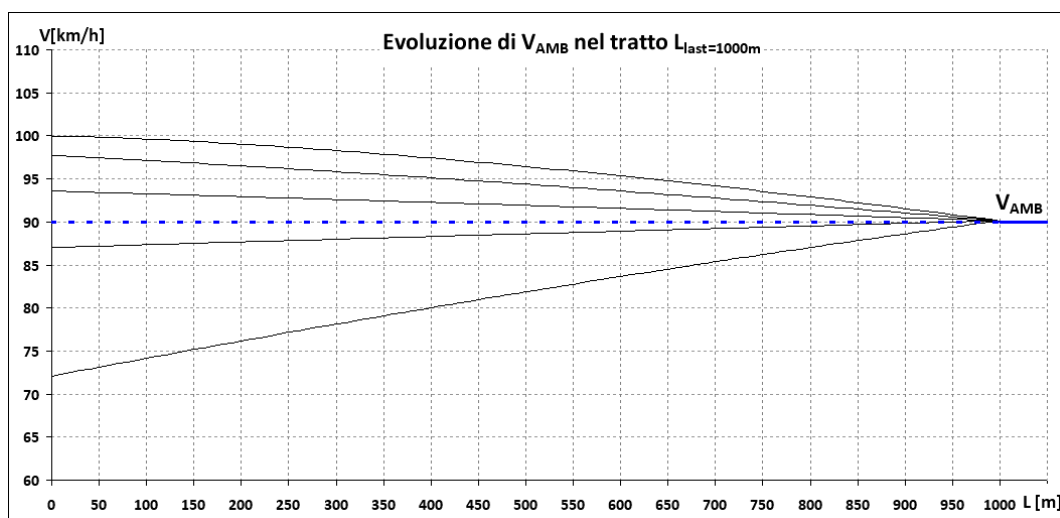


Figura III.2 - Velocità asintotica.

La seconda ipotesi ha riguardato la formalizzazione di una legge analitica che esprimesse l'evoluzione della velocità al variare della geometria stradale, utilizzando come input gli stessi parametri dimensionali utilizzati dai modelli di letteratura, ma che permettesse di calibrare la lunghezza della porzione di tracciato che influenza il comportamento

dell'utente.

Affinché il modello fosse applicabile a differenti tipologie di tracciato, i parametri di calibrazione sono stati formulati in modo da poter essere modificati in funzione della categoria stradale analizzata. In letteratura i modelli di velocità ambientale si riferiscono principalmente alla tipologia *Rural Roads* (ossia strade extraurbane ad unica carreggiata e a doppio senso di circolazione) assimilabili, come riportato precedentemente, alle categorie C ed F della Normativa italiana, [8]. Il modello V_{AMB} è stato formulato per le medesime categorie, anche se la definizione dei differenti parametri di calibrazione si presta all'applicazione in contesti in cui l'influenza della geometria trasversale sulla velocità adottata dagli utenti è diversa. S'è dapprima definita la velocità V_0 , che esprime la velocità ambientale massima in condizioni geometriche non vincolanti per sufficientemente estesi, ossia in condizioni di rettilinei molto lunghi. Da questa velocità si ottengono tutte le altre velocità *ambientali* in funzione della deviazione angolare cumulata (del tratto di estensione L_{last}) espressa tramite il parametro CCR_G^x ed il parametro α :

$$CCR_G = \frac{57300}{L_{Last}} \left(\sum_{i \in L_{Last}} \frac{L_{ci}}{r_i} + \sum_{j \in L_{Last}} \frac{L_j}{2r_i} \right)$$

$$\alpha = \frac{V_0 - V_{G,m}}{CCR_{G,min}^x}, \quad CCR_{G,min} = \frac{57300}{R_{min}}, \quad V_{G,m} = V(R_{min})$$

Il modello della velocità ambientale risulta essere quindi

$$V = V(CCR_G, V_0, CCR_{G,m}, V_{G,m}) = V_0 - \alpha \cdot CCR_G^x$$

Questo modello può essere ricondotto ai modelli esponenziali di letteratura agendo sul parametro x .

Il parametro CCR_G^x valuta, come detto, il valore del CCR globale, ma a differenza degli approcci di letteratura, esso esprime il CCR di una determinata porzione di tracciato, in particolare la porzione di tracciato di lunghezza L_{Last} appena percorsa dall'utente. La deviazione angolare cumulata deve quindi interessare esclusivamente gli elementi (o le porzioni di elemento) che ricadono in questo tratto di strada, che evidentemente, per ciascun punto di analisi, è totalmente distinto per i due versi di percorrenza. La determinazione della velocità ambientale V_{AMB} , fissate le caratteristiche generali della strada, risulta quindi dipendente esclusivamente dal valore CCR_G calcolato sezione per sezione in base alla

deviazione angolare cumulata e alla lunghezza del tratto precedente. Una rappresentazione del modello previsionale di V_{AMB} è riportata in Figura III.3: in essa è raffigurata anche l'evoluzione di V_{AMB} dell'esempio di Figura III.2.

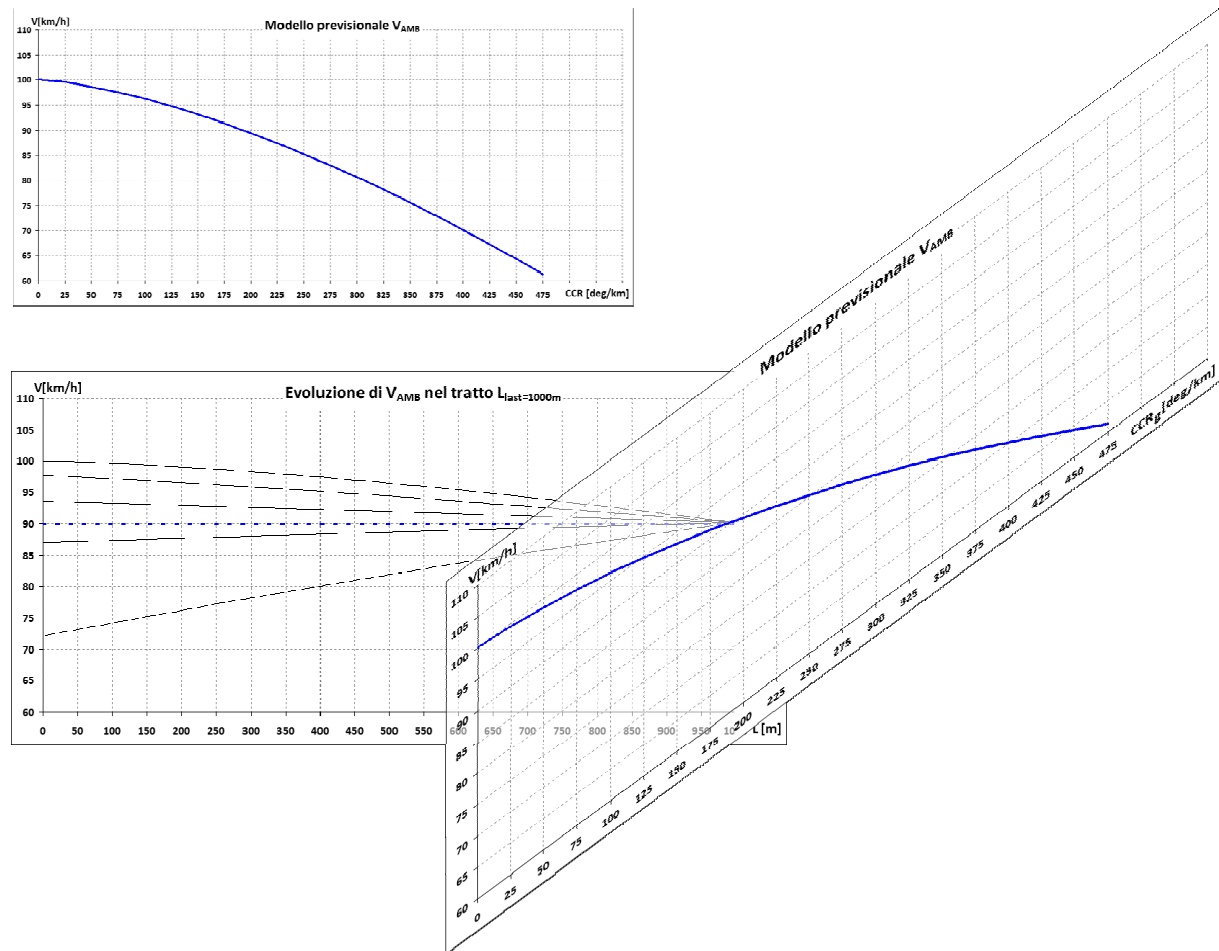


Figura III.3 - Modello V_{AMB} per il calcolo della Velocità Ambientale.

Una scelta molto delicata, per la calibrazione del modello, è quella sull'estensione del tratto L_{Last} che si suppone condizionare, con la sua geometria, la velocità desiderata, ossia quella massima a cui tenderebbe l'utente. Questo valore è evidentemente molto variabile e dipende dal tipo di utente, dal contesto di studio, dall'ora del giorno in cui si effettua lo studio. Nel caso sia considerato troppo limitato si privilegierebbero le caratteristiche locali della strada a discapito di quelle globali, la geometria della porzione di strada prossima all'utente sarebbe quindi quella considerata per valutare la velocità massima a cui tende l'utente. Nel caso, invece, in cui l'estensione del tratto L_{Last} sia assunta molto estesa si effettuerebbe l'ipotesi che l'utente sia molto restio a modificare la propria velocità, ma ciò

non equivale ad un atteggiamento di prudenza, piuttosto un comportamento poco reattivo ai cambiamenti complessivi del tracciato. La latenza dell'adattamento agisce infatti sia in cambiamenti in cui la geometria si fa più stringente e vincolante (in cui la latenza genera una situazione di pericolo essendo mantenuta una velocità più elevata) sia per quelle variazioni che portano a geometrie meno vincolanti, in cui è invece meno determinante ai fini della sicurezza (in quanto la velocità percorsa è inferiore essendo riferita a condizioni geometriche meno vincolanti) ma che potrebbe portare a sottostimare parametri di sicurezza quali ad esempio le distanze di visibilità per l'arresto da utilizzare nel confronto con la distanza di visuale libera. Come si vedrà nei paragrafi seguenti tale distanza è stata valutata confrontando il profilo delle velocità ottenuto dal modello predittivo con quello sperimentale ottenuto da una simulazione in ambiente virtuale su un campione di indagine.

III.4- Velocità operativa - Modello Predittivo

La geometria della strada influisce direttamente sul comportamento dell'utente stradale e determina, insieme alle altre caratteristiche dell'infrastruttura, la velocità che egli sceglie di mantenere. Esistono molteplici modelli di letteratura che formalizzano una correlazione tra caratteristica geometrica stradale e velocità operativa, come ampiamente esposto nel paragrafo II.3.3. Molti modelli di letteratura richiedono tuttavia una preventiva determinazione della geometria del tracciato tramite l'individuazione degli elementi geometrici costituenti o la determinazione dell'andamento della curvatura del tracciato. Il modello proposto, CCV [62] [63], utilizzando dati planimetrici discreti relativi ad un tracciato stradale, permette di giungere alla valutazione della velocità puntuale dell'utente.

$$V = V(CCR, V_0, CCR_m, V_m) = V_0 \cdot e^{\left[\left(\frac{CCR}{CCR_m} \right)^y \cdot \ln \left(\frac{V_m}{V_0} \right) \right]} \quad \text{dove}$$

CCR descrive la variazione di curvatura specifica per km di strada:

$$CCR = \frac{57300}{L_t} \left(\sum_i \frac{L_{ci}}{r_i} + \sum_j \frac{L_j}{2r_j} \right);$$

V_0 è la velocità relativa alle condizioni geometriche meno vincolanti $V_{Max}=V[CCR=0]$, ossia in rettilineo;

CCR_m è il valore massimo di CCR in corrispondenza dell'elemento percorso a V minima V_m ;

y è il parametro di forma.

I parametri V_0 , CCR_m , V_m e y permettono di specializzare il modello per differenti categorie stradali. Definendo la velocità massima attesa V_0 per la categoria stradale in esame e le condizioni maggiormente vincolanti per il tracciato (ad esempio le condizioni limite di iscrizione del veicolo $CCR_m = 3800 \text{ deg/km}$, $V_m = 10.0 \text{ km/h}$) il modello fornisce delle stime della velocità al variare di CCR. La possibilità di avere elevati intervalli di input rispetto ai modelli di letteratura permette di applicare il modello CCV anche alle strade extraurbane locali che presentano limitatissimi valori di raggio senza che vi sia una inversione del segno della velocità operativa stimata, come accade in alcuni modelli di letteratura. Questo aspetto è apprezzabile graficamente in Figura III.4

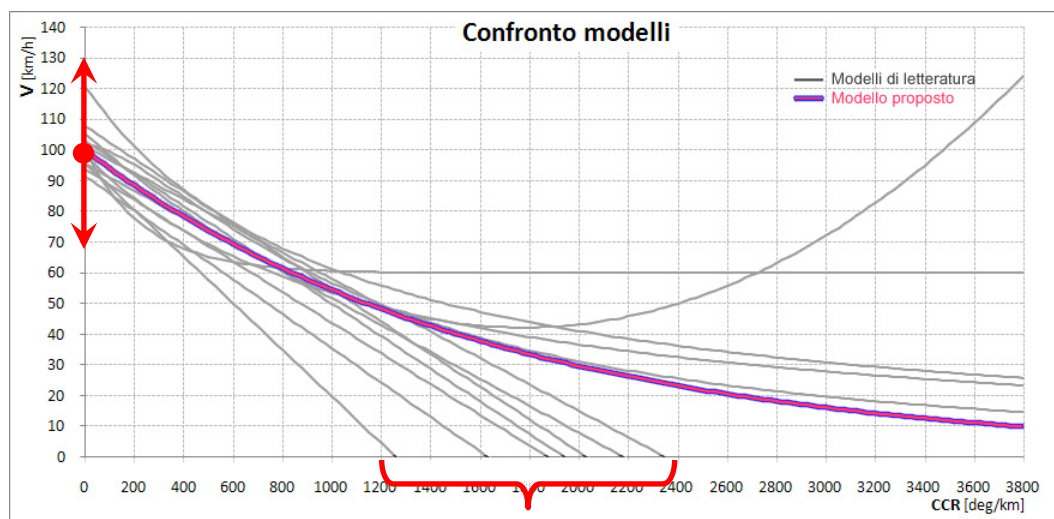


Figura III.4 - Modello CCV, vantaggi applicativi.

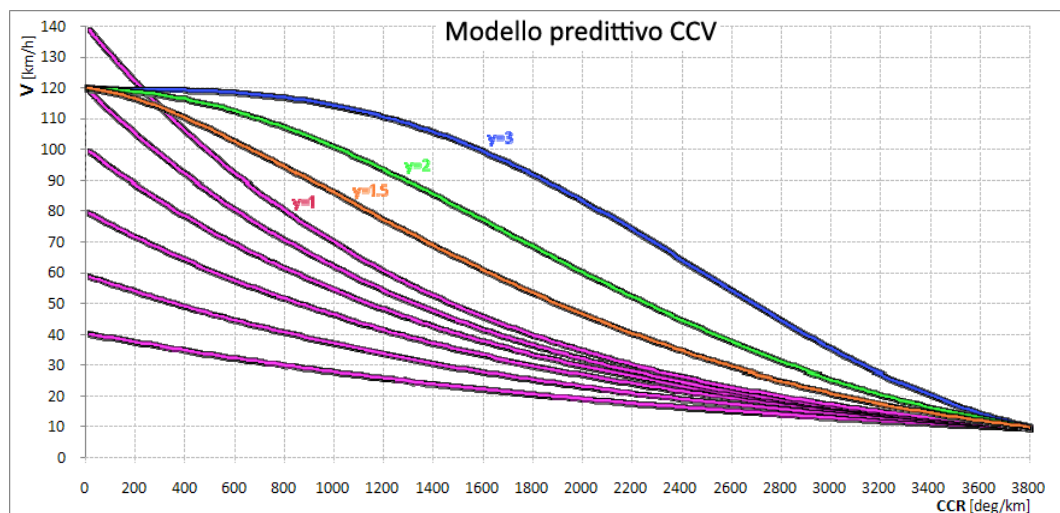


Figura III.5 - Modello CCV.

Il parametro di forma y esprime l'influenza della geometria sulla variazione di velocità adottata dall'utente, come rappresentato nella Figura III.5. All'aumentare di y diminuisce l'influenza della geometria sulla velocità, quindi a parità di CCR_m si otterranno delle velocità maggiori.

III.5- Modello comportamentale completo

La formalizzazione completa del modello previsionale CCV_{AMB} per la determinazione della velocità operativa è stata effettuata considerando i modelli introdotti nei paragrafi III.3 e III.4. Il modello complessivo così ottenuto considera la porzione di tracciato che precede la sezione di studio per la definizione della velocità ambientale che sarà utilizzata come velocità di CCR nullo nel modello previsionale CCV . Il modello CCV_{AMB} , rappresentato in Figura III.6 per alcuni valori dei parametri x e y , permette quindi di stimare la velocità di percorrenza note le caratteristiche geometriche che caratterizzano l'intorno della sezione di studio e le caratteristiche geometriche del tronco stradale che precede tale sezione.

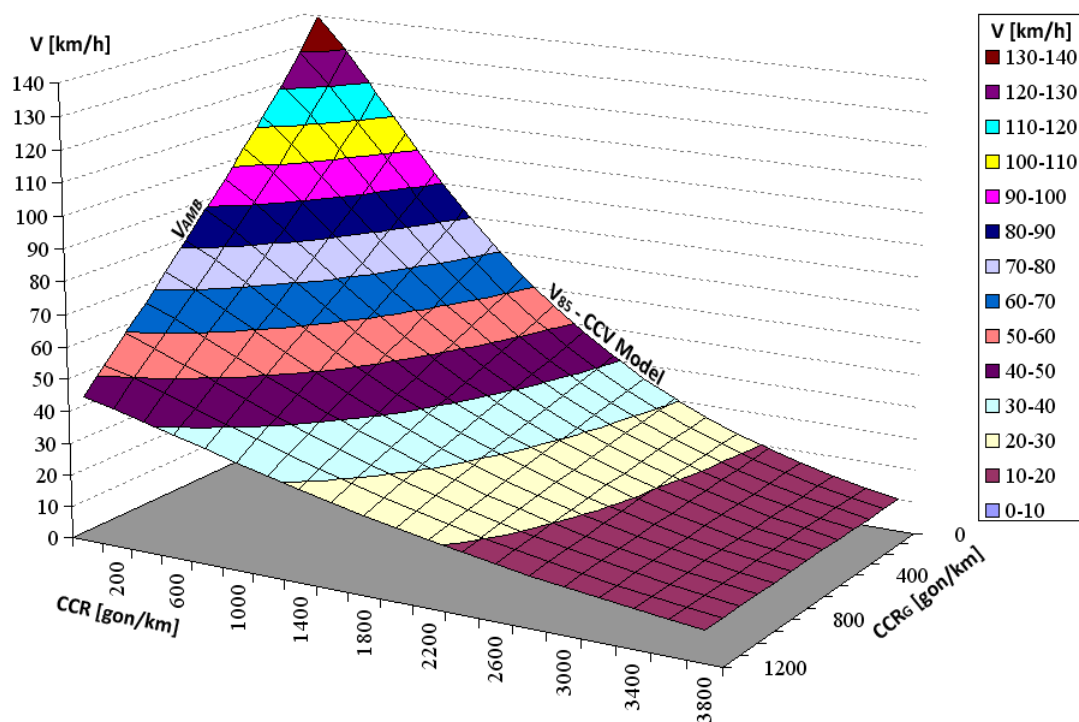


Figura III.6 - Modello previsionale CCV_{AMB} $x=1$ $y=1$.

Tali caratteristiche influiscono più o meno marcatamente a seconda dei valori dei parametri di forma x ed y : in Figura III.7 si riportano i valori della velocità calcolati con il

modello CCV_{AMB} ed i relativi parametri posti pari 2. In questa configurazione si apprezza direttamente la minore influenza della geometria sulla velocità operativa osservabile in corrispondenza del punto a $CCR=0$ e $CCR_G=0$, ossia dove la superficie ha giacitura pseudo orizzontale.

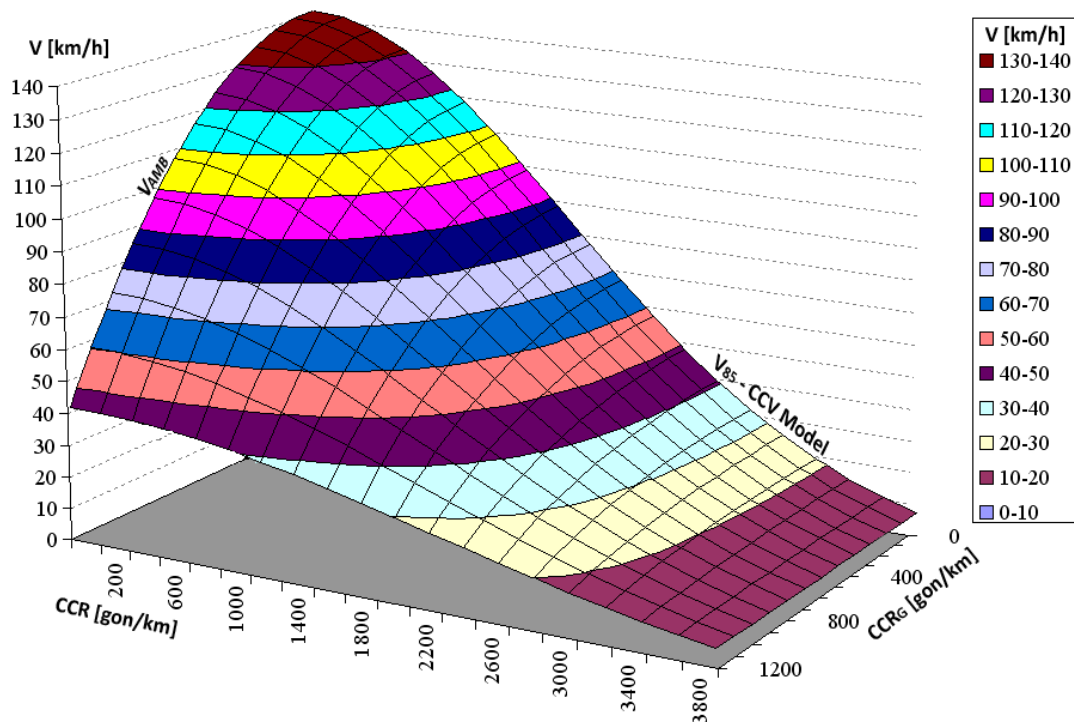


Figura III.7 - Modello previsionale CCV_{AMB} $x=2$ $y=2$.

La calibrazione del modello previsionale CCV_{AMB} deve quindi considerare:

- le *caratteristiche globali* del tracciato ($CCR_{G,min}$, CCR_m , V_0 , $V_{G,m}$, V_m);
- le *caratteristiche geometriche* della strada (CCR , CCR_G);
- le *caratteristiche dell'utenza* (parametri x ed y) e l'influenza che la geometria stradale ha sulle velocità operative (L_{Last}).

III.6- Profilo delle velocità operative

L'applicazione del modello, su tracciati a geometria nota, permette di effettuare il tracciamento del profilo delle velocità operative. Fissati i parametri di calibrazione, infatti, l'applicazione del modello fornisce per ciascun punto di elaborazione un valore di riferimento di velocità che, rappresentato in funzione alla progressiva di calcolo, permette di diagrammare l'evoluzione della velocità lungo il percorso. L'esempio di Figura III.8 si riferisce ad un

tracciato progettato secondo le disposizioni della normativa italiana [8] e ricadente nella categoria stradale B.

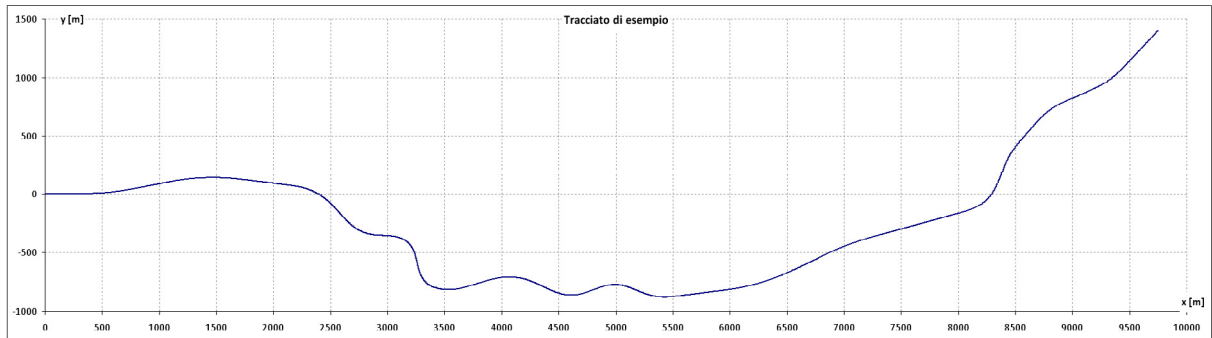


Figura III.8 - Tracciato di esempio.

I parametri di riferimento specifici sono:

- caratteristiche globali:
 - $CCR_{G,min} = 322 \text{deg/km}$
 - $CCR_m = 3800 \text{deg/km}$
 - $V_0 = 140 \text{km/h}$
 - $V_{G,m} = 70 \text{km/h}$
 - $V_m = 10 \text{km/h}$
- caratteristiche dell'utenza:
 - $x = 0.90$
 - $y = 1.20$
 - $L_{Last} = 1200 \text{m}$

Le caratteristiche geometriche sono rappresentate nel diagramma delle curvature di Figura III.9, mentre le velocità di progetto sono rappresentate in Figura III.10.

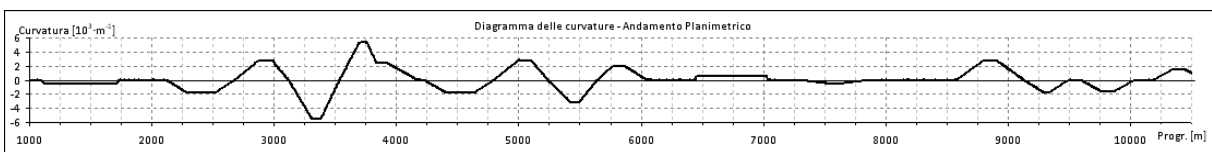


Figura III.9 - Diagramma delle curvature - tracciato di esempio.

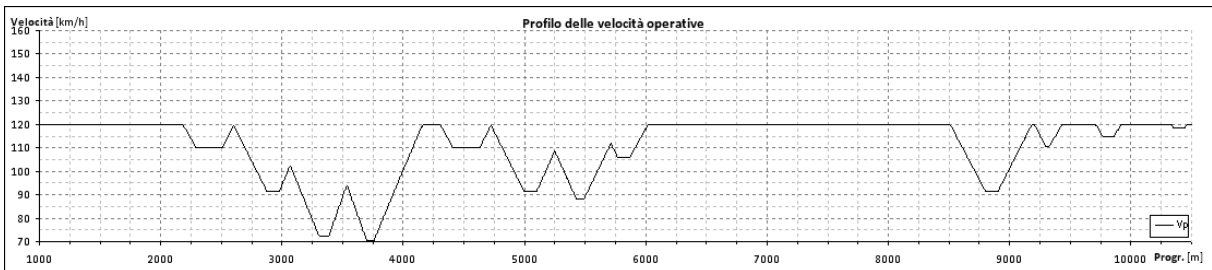


Figura III.10 - Diagramma delle velocità di progetto.

L'applicazione diretta del modello previsionale CCV fornirebbe un risultato carente dal punto di vista omeostatico, in quanto considererebbe esclusivamente le condizioni geometriche locali per stimare le velocità operative. In Figura III.11 è riportato un andamento di esempio, in cui si sono conservati i parametri di calibrazione del modello completo (il che accentua le differenze assolute di velocità). Si nota subito come la velocità operativa, benché sia calcolata sezione per sezione, presenta degli andamenti discutibili, si tratta in buona sostanza, di una rappresentazione in scala logaritmica del diagramma delle curvature.

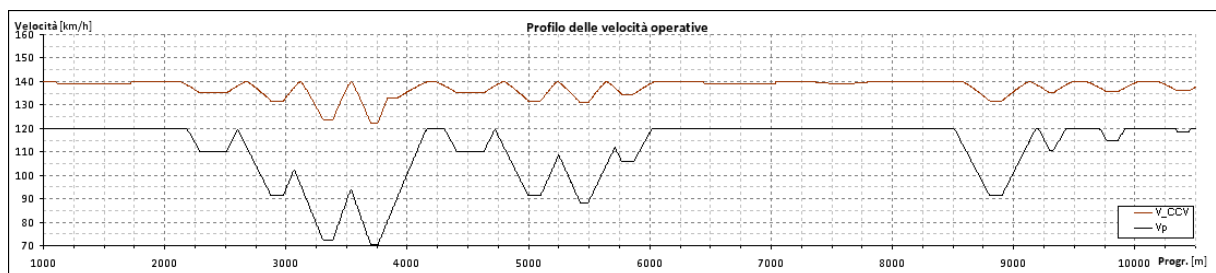


Figura III.11 - Applicazione modello CCV.

L'applicazione del solo modello predittivo delle velocità ambientale, rappresentato in Figura III.12, descrive invece una sorta di *smoothing* della velocità operative dell'utente, ossia la velocità che adotterebbe l'utente se non fosse "vincolato" dalle condizioni geometriche locali. Utilizzando i due modelli, ossia il modello completo CCV_{AMB} descritto nel paragrafo precedente, si ottiene l'andamento rappresentato in Figura III.13.

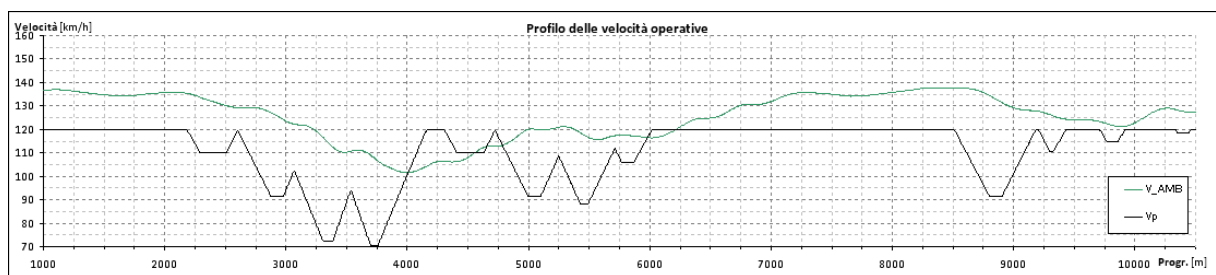


Figura III.12 - Applicazione modello V_{AMB} .

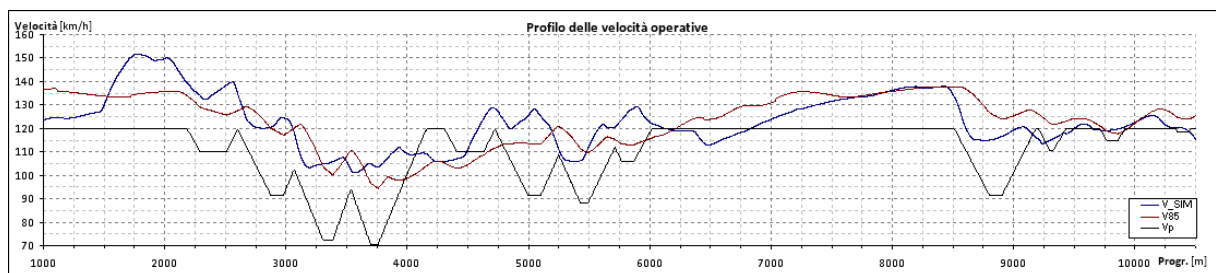


Figura III.13 - Applicazione modello CCV_{AMB} e confronto con dati sperimentali.

Dal grafico di Figura III.13 si osserva la qualitativa concordanza tra i dati sperimentali registrati in alcuni test condotti in realtà virtuale, [66], e i dati ottenuti dal modello predittivo. Le tendenze sono particolarmente concordi, quasi coincidenti, in corrispondenza delle ascisse 7000m e 8700m. Questo tratto è caratterizzato da una geometria non particolarmente vincolante essendo caratterizzato da curve ad ampio raggio e rettilinei di lunghezza importante. L'applicazione dei modelli predittivi convenzionali avrebbe attribuito a tale tratto un valore costante prossimo a quello delle velocità ambientale caratterizzante la geometria globale di quella porzione di strada. L'applicazione sequenziale del modello CCV_{AMB} permette invece di effettuare una valutazione, se pur qualitativa, della evoluzione dell'adattamento dell'utente alle nuove condizioni al contorno e della conseguente modifica apportata alla velocità.

Il profilo delle velocità così ottenuto è influenzato dal verso di percorrenza dell'infrastruttura variando le condizioni pregresse che conducono a quel tratto stradale. I diagrammi delle velocità operative per i due versi di percorrenza sono rappresentati in Figura III.14.

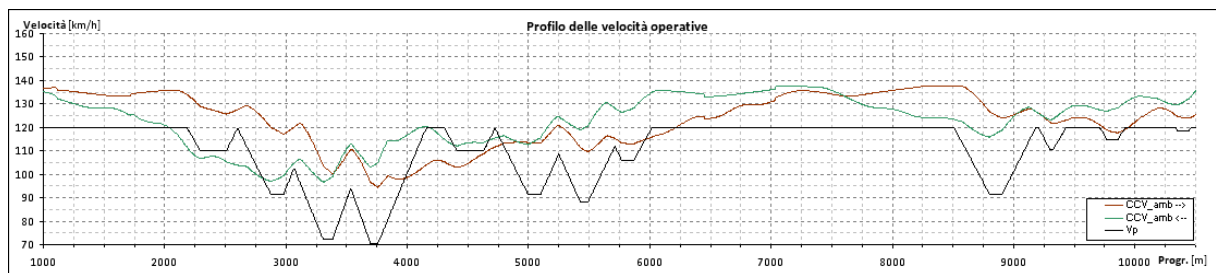


Figura III.14 - Profilo delle velocità operative per i due versi di percorrenza.

La determinazione di un diagramma delle V_{85} realistico permette di giungere a delle conclusioni in merito alle condizioni di percorrenza della infrastruttura esaminata con le conseguenti possibilità di affinare lo studio di opportune soluzioni migliorative, eventualmente specificandole per i differenti versi di percorrenza.

III.7 - Considerazioni

Quanto esposto nei paragrafi precedenti costituisce un approccio operativo per il calcolo delle velocità operative, esso considera alcuni aspetti delle teorie omeostatiche come integrazione ai metodi scientifici tradizionalmente utilizzati per lo scopo. La formulazione dei modelli matematici esposti precedentemente permette di superare alcune difficoltà di base

insite nei modelli di letteratura che analizzano i tracciati di studio tramite la loro caratterizzazione geometrica.

Il modello CCV_{AMB} , pur conservando la natura dei modelli predittivi tradizionali, può essere calibrato ed adattato ai differenti casi di studio in funzione della categoria stradale (e della conseguente escursione delle V_{85} prevista), delle caratteristiche geometriche predominanti (tramite la definizione dei valori minimi attesi dei raggi di curvatura planimetrica) e delle caratteristiche dell'utenza, con la conseguente possibilità di definire l'entità dell'influenza che la geometria esercita sull'utenza, tramite la definizione dei parametri x ed y . Questi parametri sono stati stimati, per l'esempio discusso precedentemente, sulla base di dati sperimentali ottenuti da test effettuati in realtà virtuale tramite simulatore di guida. Il tracciato in esame è stato percorso da un campione di utenti le cui velocità di percorrenza sono state monitorate e registrate al fine di ottenere il profilo delle velocità operative. Sebbene la validità generale del metodo non è confermata dal confronto dei risultati predittivi con quelli di un singolo caso sperimentale, la concordanza degli andamenti delle velocità lascia presupporre la sua applicabilità in alcuni contesti specifici. Particolarmente confortante invece risulta la concordanza dell'andamento delle V_{85} nei tratti in cui si hanno dei rettilinei o delle curve di ampio raggio.

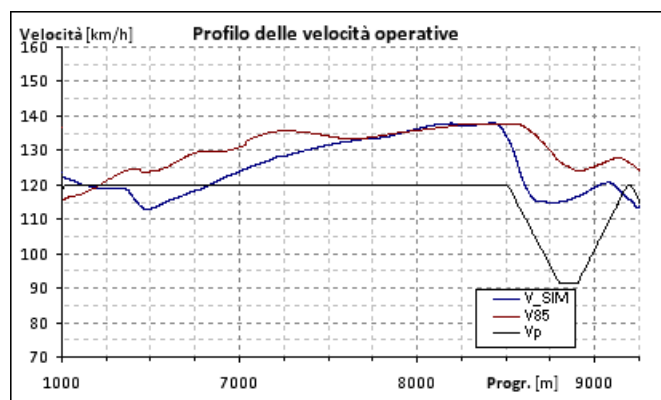


Figura III.15 - Andamento della V_{85} in condizioni geometriche non vincolate.

L'aumento delle velocità ottenuto dalla rappresentazione dei dati sperimentali è molto simile alla quella ottenuta dalla applicazione del modello predittivo in cui la velocità massima a cui tende l'utente è stata associata alla velocità $CCR=0$ e $CRC_G=0$, ossia V_0 . La determinazione del diagramma delle velocità operative permette di effettuare delle valutazioni sulla sicurezza intrinseca dell'infrastruttura, come sarà descritto nel capitolo seguente.

Capitolo IV

-

SICUREZZA STRADALE: INDICI DI VALUTAZIONE.

IV.1 - Premessa.

Si propone, di seguito, una serie di indici complessivi di valutazione della sicurezza stradale determinati dalla fase di elaborazione ed analisi quantitativa della risposta dell'utente stradale effettuata utilizzando gli strumenti esposti nel capitolo precedente. Tali indici specificano i metodi di analisi convenzionali, descritti nel paragrafo II.3.4.1, e descrivono in modo quantitativo le caratteristiche geometriche dell'infrastruttura, fornendo come risultato dei controlli di sicurezza effettuati sulla base della risposta dell'utente.

IV.2 - Indici descrittivi del tracciato.

Al fine di rendere esplicite le considerazioni sulla natura del tracciato oggetto dell'analisi di sicurezza, si sono formalizzati degli indici descrittivi delle caratteristiche cinematiche ed operative dei tracciati. Si sono espresse quindi le caratteristiche del tracciato dal punto di vista della velocità progettuale e delle velocità operative dipendenti dalla natura geometrica dell'infrastruttura analizzata.

IV.2.1 - Indici di tortuosità cinematica

Un parametro descrittivo dei tracciati stradali convenzionalmente utilizzato per nella progettazione stradale è la tortuosità geometrica. Questa, similmente al parametro *CCR*, fornisce delle informazioni sulla geometria stradale descrivendone la natura più o meno vincolante, tramite un valore del raggio di curvatura mediato su una determinata porzione di strada. Utilizzando tale approccio per rappresentare complessivamente il valor medio e le variazioni della velocità di progetto determinata dal tracciamento del diagramma delle velocità, [8], si ottengono i parametri descrittivi riassunti nella Tabella IV.1.

Indice	Descrizione
$I_{V_{p,m}} = \frac{\sum_{i=1}^N (V_{p,i} \cdot L_i)}{L_T}$	Indice di tortuosità cinematica media
	Valore medio della velocità di progetto calcolato ponderando le velocità dei diversi elementi con le estensioni di questi. Fornisce un valore medio indicativo relazionato alla velocità desunta dalla geometria del tracciato.
$I_{V_{p,\Delta}} = [\max(V_{p,i}) - \min(V_{p,i})]$	Indice di escursione della tortuosità cinematica
	Descrive la massima variabilità della velocità di progetto, ossia l'ampiezza del suo intervallo variazione.
$I_{V_{p,\sigma}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (V_{p,i} - I_{V_{p,m}})^2}{n}}$	Indice di variazione della tortuosità cinematica
	Descrive la deviazione standard della variazione della velocità di progetto, ossia la variabilità dei valori di velocità in riferimento alla velocità media calcolata.
$I'_{V_{p,\Delta}} = \frac{I_{V_{p,\Delta}}}{I_{V_{p,m}}} \cdot 100$	Indice di escursione della tortuosità cinematica normalizzata
	Descrive la massima variabilità della velocità di progetto normalizzata sul valore medio della velocità.
$I'_{V_{p,\sigma}} = \frac{I_{V_{p,\sigma}}}{I_{V_{p,m}}} \cdot 100$	Indice di variazione della tortuosità cinematica normalizzata
	Descrive la deviazione standard della variazione della velocità di progetto normalizzata sul valore medio della velocità.

Tabella IV.1 - Indici di tortuosità cinematica.

Descrivendo il tracciato di esempio, introdotto nel paragrafo III.6 e riportato in Figura IV.1, attraverso questi indici descrittivi, si ottengono i seguenti valori:

$$I_{V_{p,m}} = \frac{\sum_{i=1}^N (V_{p,i} \cdot L_i)}{L_T} = 110.82 \text{ km/h} \quad \text{Indice di tortuosità cinematica media}$$

$$I_{V_{p,\Delta}} = [\max(V_{p,i}) - \min(V_{p,i})] = 49.31 \text{ km/h} \quad \text{Indice di escursione della tortuosità cinematica}$$

$$I_{V_{p,\sigma}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (V_{p,i} - I_{V_{p,m}})^2}{n}} = 12.92 \text{ km/h} \quad \text{Indice di variazione della tortuosità cinematica}$$

$$I'_{V_{p,\Delta}} = \frac{I_{V_{p,\Delta}}}{I_{V_{p,m}}} \cdot 100 = 44.50\% \quad \text{Indice di escursione della tortuosità cinematica normalizzata}$$

$$I'_{V_{p,\sigma}} = \frac{I_{V_{p,\sigma}}}{I_{V_{p,m}}} \cdot 100 = 11.66\% \quad \text{Indice di variazione della tortuosità cinematica normalizzata}$$

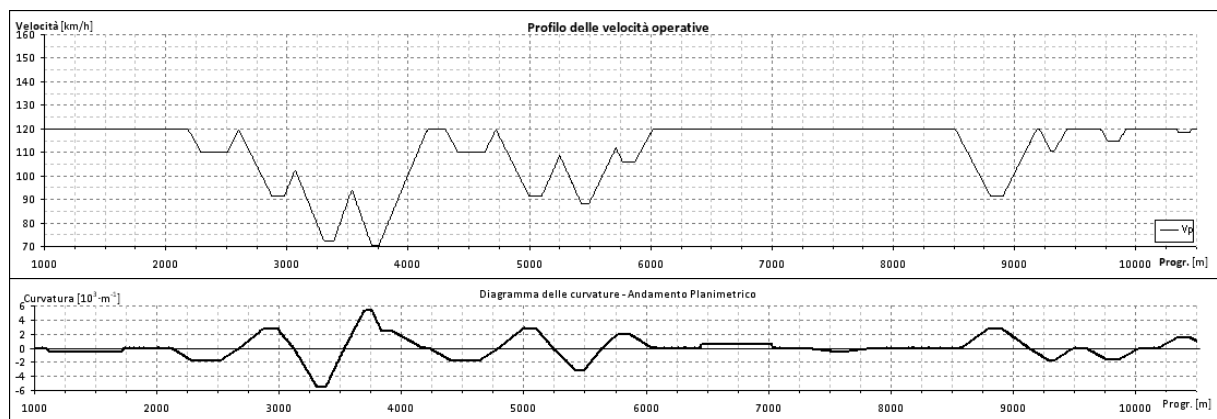


Figura IV.1 - Diagramma delle curvature e delle velocità di progetto.

Tramite l'analisi degli indici si apprezza la tendenza media del tracciato ad essere caratterizzato da una velocità di percorrenza vicino al limite superiore di progetto (120km/h) essendo $I_{Vp,m} = 110.82 \text{ km/h}$ e la contemporanea presenza di escursioni importanti di velocità $I_{Vp,\Delta} = 49.31 \text{ km/h}$, le quali sono limitate a brevi porzioni di tracciato, essendo $I_{Vp,\sigma} = 12.92 \text{ km/h}$ di molto inferiore alla metà dell'ampiezza di variazione $I_{Vp,\Delta}$. Le variazioni di velocità restano comunque importanti essendo pari a circa la metà del valor medio $I'_{Vp,\Delta} = 44.50\%$ ed asimmetriche rispetto a $I_{Vp,m}$ essendovi la limitazione di V_p a 120km/h (che porta a variazioni effettive di velocità rispetto al valor medio di circa il 36%). La variazione standard normalizzata rimane nell'ordine del $I'_{Vp,\sigma} = 11.66\%$, il che fa presupporre potenziali problemi localizzati dovuti alle forti scarti di velocità.

IV.2.2 - Indici di tortuosità operativa

L'approccio utilizzato per gli indici di tortuosità cinematica è stato applicato anche nel caso delle velocità operative desunte dal profilo ottenuto con i metodi esposti nel Capitolo III. Utilizzando tale approccio per rappresentare complessivamente il valor medio e le variazioni della velocità operativa si sono formalizzati i parametri riassunti nella Tabella IV.2. A differenza degli indici di tortuosità cinematica, gli indici di Tabella IV.2 riassumono l'effetto che la geometria stradale ha sull'utente, secondo i modelli predittivi scelti. Essi risultano quindi particolarmente efficaci per effettuare delle considerazioni globali sul comportamento e sulle velocità indotte dalla geometria e maggiormente rappresentativi della condizioni di esercizio dell'infrastruttura. Ciò è possibile solo valutando un profilo continuo delle V_{85} .

Indice	Descrizione
$I_{V85,m} = \frac{\sum_{i=1}^N (V_{85,i} \cdot L_i)}{L_T}$	Indice di tortuosità operativa media
	Valore medio della V_{85} calcolato ponderando le velocità dei diversi elementi con le estensioni di questi. Fornisce un valore medio indicativo relazionato alla velocità desunta dal profilo delle V_{85} calcolato con il modello predittivo CCV_{AMB} .
$I_{V85,\Delta} = [\max(V_{85,i}) - \min(V_{85,i})]$	Indice di escursione della tortuosità operativa
	Massima variabilità delle V_{85} , ossia l'ampiezza del suo intervallo variazione.
$I_{V85,\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (V_{85,i} - I_{V85,m})^2}{n}}$	Indice di variazione della tortuosità operativa
	Deviazione standard della variazione delle V_{85} , ossia la variabilità dei valori di velocità in riferimento alla velocità media calcolata.
$I'_{V85,\Delta} = \frac{I_{V85,\Delta}}{I_{V85,m}} \cdot 100$	Indice di escursione della tortuosità operativa normalizzata
	Massima variabilità delle V_{85} normalizzata sul valore medio della velocità.
$I'_{V85,\sigma} = \frac{I_{V85,\sigma}}{I_{V85,m}} \cdot 100$	Indice di variazione della tortuosità operativa normalizzata
	Deviazione standard della variazione delle V_{85} normalizzata sul valore medio della velocità.

Tabella IV.2 - Indici di tortuosità operativa.

Calcolando gli indici di Tabella IV.2 per il tracciato di esempio riportato in Figura IV.2, si ottengono i seguenti valori:

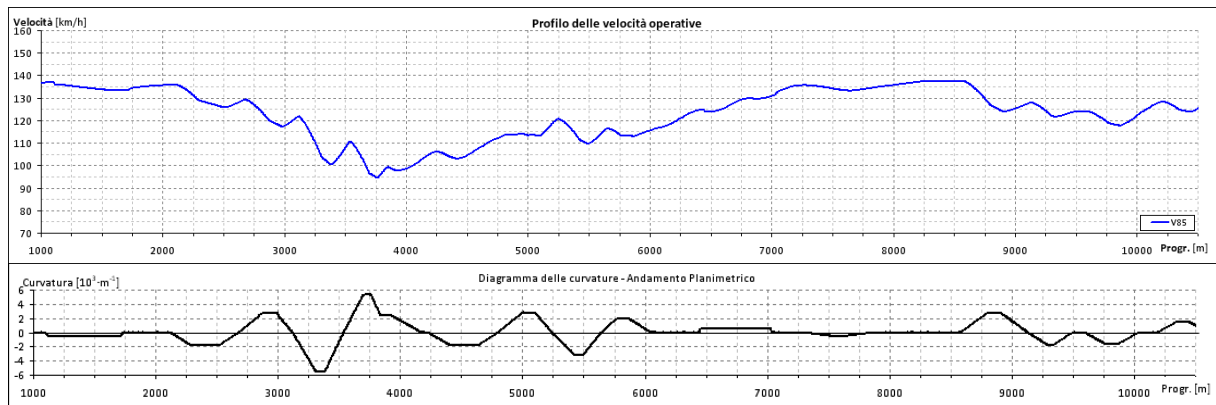
$$I_{V85,m} = \frac{\sum_{i=1}^N (V_{85,i} \cdot L_i)}{L_T} = 123.44 \text{ km/h} \quad \text{Indice di tortuosità operativa media}$$

$$I_{V85,\Delta} = [\max(V_{85,i}) - \min(V_{85,i})] = 45.52 \text{ km/h} \quad \text{Indice di escursione della tortuosità operativa}$$

$$I_{V85,\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (V_{85,i} - I_{V85,m})^2}{n}} = 11.43 \text{ km/h} \quad \text{Indice di variazione della tortuosità operativa}$$

$$I'_{V85,\Delta} = \frac{I_{V85,\Delta}}{I_{V85,m}} \cdot 100 = 36.88\% \quad \text{Indice di escursione della tortuosità operativa normalizzata}$$

$$I'_{V85,\sigma} = \frac{I_{V85,\sigma}}{I_{V85,m}} \cdot 100 = 9.26\% \quad \text{Indice di variazione della tortuosità operativa normalizzata}$$

Figura IV.2 - Diagramma delle curvature e delle V_{85} .

Dall'analisi degli indici si apprezza la tendenza media del tracciato ad essere caratterizzato da una velocità di percorrenza maggiore del limite superiore di progetto (120km/h) ed al valore calcolato nel paragrafo precedente ($I_{vp,m} = 110.82 \text{ km/h}$) essendo $I_{V_{85},m} = 123.44 \text{ km/h}$. Si denota la contemporanea presenza di escursioni importanti di velocità $I_{V_{85},\Delta} = 45.52 \text{ km/h}$ che però restano limitate a brevi porzioni di tracciato, essendo $I_{V_{85},\sigma} = 11.43 \text{ km/h}$ di molto inferiore alla metà dell'ampiezza di variazione $I_{V_{85},\Delta}$, in linea con quanto analizzato per le velocità di progetto. Le variazioni di velocità restano comunque importanti essendo pari a circa la metà del valor medio $I'_{V_{85},\Delta} = 36.88\%$, anche se rispetto alle V_p si denota una velocità di percorrenza media più elevata e generalmente meno variabile, cosa che evidenzia delle problematiche di stabilità non desumibili dagli indici di paragrafo IV.2.1. La variazione standard normalizzata rimane nell'ordine del $I'_{V_{85},\sigma} = 9.26\%$, sottolineando l'aspetto appena analizzato.

IV.3 - Indici di sicurezza

L'analisi critica del profilo delle velocità operative e l'applicazione dei consolidati criteri di verifica descritti nel paragrafo II.3.4.1 ha permesso di giungere ad una caratterizzazione complessiva della sicurezza del tracciato. Nei paragrafi seguenti si esporranno i risultati di tale analisi e le relative considerazioni ottenibili.

IV.3.1 - Indici di sicurezza: *Safety criteria I*.

Utilizzando l'approccio del *Safety criteria I* di Lamm ed effettuando il confronto

puntuale delle differenze tra i valori di V_{85} e V_P è possibile desumere informazioni dettagliate sulla consistenza progettuale delle infrastrutture stradali. Dai valori consolidati delle escursioni limite di velocità è possibile sancire globalmente la consistenza del tracciato analizzato tramite gli indici di Tabella IV.3 in cui $\Delta V_{SCI,i} = (V_{85,i} - V_{P,i})$.

Indice	Descrizione
$I_{SCI,m} = \frac{\sum_{i=1}^N [\Delta V_{SCI,i} \cdot L_i]}{L_T}$	Indice di consistenza SCI medio
	Valore medio della differenza tra V_{85} e V_P calcolato puntualmente e ponderato sulle estensioni dei diversi elementi. Fornisce un valore medio indicativo del risultato delle verifiche secondo il <i>Safety criteria I</i> .
$I_{SCI,\Delta} = [\max \Delta V_{SCI,i} - \min \Delta V_{SCI,i}]$	Indice di escursione della consistenza SCI
	Massima variabilità della differenza tra V_{85} e V_P , ossia l'ampiezza dell'intervallo di variazione di $\Delta V_{SCI,i}$.
$I_{SCI,\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [\Delta V_{SCI,i} - I_{SCI,m}]^2}{n}}$	Indice di variazione della consistenza SCI
	Deviazione standard della variazione della differenza tra V_{85} e V_P , ossia la variabilità di $\Delta V_{SCI,i}$.
$I'_{SCI,m} = \frac{I_{SCI,m}}{20km/h}$	Indice di consistenza SCI media normalizzato
	Valor medio della variazione della differenza tra V_{85} e V_P normalizzata sul valore massimo ammesso in relazione al <i>Safety criteria I</i> .
$I'_{SCI,\Delta} = \frac{I_{SCI,\Delta}}{20km/h}$	Indice di escursione della consistenza SCI normalizzato
	Massima variabilità della differenza tra V_{85} e V_P normalizzata sul valore massimo ammesso in relazione al <i>Safety criteria I</i>
$I'_{SCI,\sigma} = \frac{I_{SCI,\sigma}}{20km/h}$	Indice di variazione della consistenza SCI normalizzato
	Deviazione standard normalizzata della variazione della differenza tra V_{85} e V_P rispetto al valore massimo ammesso in relazione al <i>Safety criteria I</i> .

Tabella IV.3 - Indici di sicurezza: *Safety criteria I*.

Calcolando gli indici di Tabella IV.3 per il tracciato di esempio riportato in Figura IV.2, si ottengono i seguenti valori:

$$I_{SCI,m} = \frac{\sum_{i=1}^N [\Delta V_{SCI,i} \cdot L_i]}{L_T} = 12.63km/h$$

Indice di consistenza SCI medio

$$I_{SCI,\Delta} = [\max \Delta V_{SCI,i} - \min \Delta V_{SCI,i}] = 50.87 \text{ km/h} \quad \text{Indice di escursione della consistenza SCI}$$

$$I_{SCI,\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [\Delta V_{SCI,i} - I_{SCI,m}]^2}{n}} = 9.97 \text{ km/h} \quad \text{Indice di variazione della consistenza SCI}$$

$$I'_{SCI,m} = \frac{I_{SCI,m}}{20 \text{ km/h}} = 0.63 \quad \text{Indice di consistenza SCI medio normalizzato}$$

$$I'_{SCI,\Delta} = \frac{I_{SCI,\Delta}}{20 \text{ km/h}} = 2.54 \quad \text{Indice di escursione della consistenza SCI normalizzato}$$

$$I'_{SCI,\sigma} = \frac{I_{SCI,\sigma}}{20 \text{ km/h}} = 0.49 \quad \text{Indice di variazione della consistenza SCI normalizzato}$$

L'andamento delle differenze esistenti tra V_{85} e V_P in funzione alla progressiva è rappresentato graficamente in Figura IV.3.

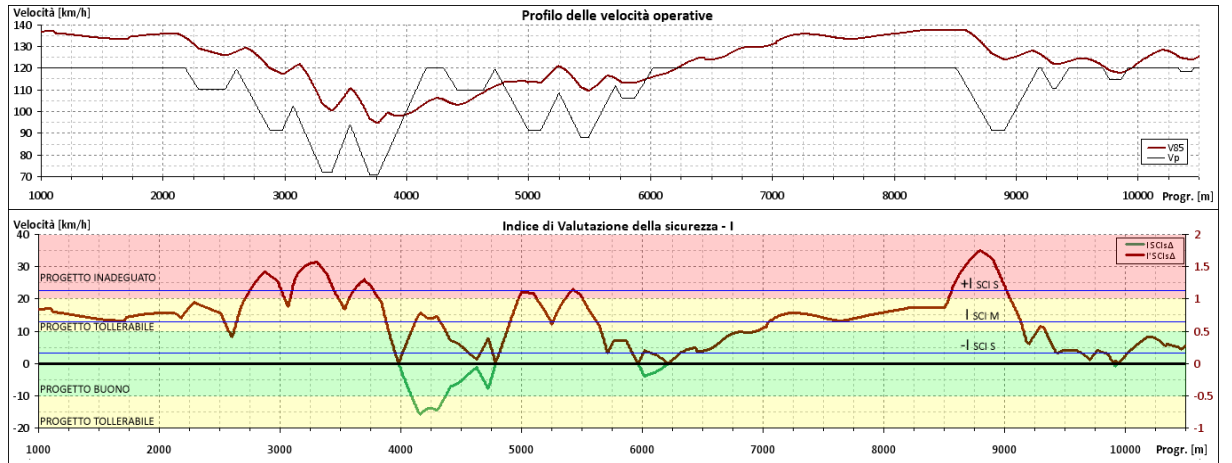


Figura IV.3 - Analisi del tracciato tramite gli indici di sicurezza: *Safety criteria I*.

Dall'analisi degli indici si può definire l'accettabilità della consistenza progettuale del tracciato, essendo il $10 \text{ km/h} \leq I_{SCI,m} \leq 20 \text{ km/h}$. Risultano però evidenti delle criticità localizzate, in quanto $I_{SCI,\Delta} \geq (2 \cdot 20) \text{ km/h}$ ossia l'ampiezza di variazione delle differenze tra V_{85} e V_P eccede l'ampiezza dell'intervallo di accettabilità definito da Lamm e fa ricadere alcuni casi nel campo "non accettabile". I tratti in cui ciò accade sono comunque localizzati essendo $I_{SCI,\sigma} = 9.97 \text{ km/h}$. Dall'analisi dei valori normalizzati si può giungere alle medesime conclusioni definendo il campo di progetto consistente per $I \leq 1$, accettabile per $1 < I \leq 2$ e non accettabile se $I > 2$. I limiti di accettabilità possono altresì essere adattati alla tipologia di

strada analizzata.

IV.3.2 - Indice di sicurezza: *Safety criteria II*.

Utilizzando l'approccio del *Safety criteria II* di Lamm ed effettuando il confronto delle differenze tra i valori di V_{85} di elementi successivi è possibile analizzare la consistenza percettiva delle infrastrutture stradali da parte dell'utente. Dal confronto con i valori limite delle consolidate teorie di Lamm è possibile sancire globalmente la consistenza del tracciato analizzato tramite gli indici di Tabella IV.4 in cui $\Delta V_{SCII,i} = (\bar{V}_{85,i} - \bar{V}_{85,i-1})$.

Indice	Descrizione
$I_{SCII,m} = \frac{\sum_{i=2}^N [\Delta V_{SCII,i} \cdot L_i]}{L_T}$	Indice di consistenza SCII medio
	Valore medio della differenza tra le V_{85} di elementi successivi ponderato sulle estensioni degli stessi. Fornisce un valore medio indicativo del risultato delle verifiche secondo il <i>Safety criteria II</i> .
$I_{SCII,\Delta} = [\max \Delta V_{SCII,i} - \min \Delta V_{SCII,i}]$	Indice di escursione della consistenza SCII
	Massima variabilità della differenza tra V_{85i} , ossia l'ampiezza dell'intervallo di variazione di $\Delta V_{SCII,i}$.
$I_{SCII,\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [\Delta V_{SCII,i} - I_{SCII,m}]^2}{n}}$	Indice di variazione della consistenza SCII
	Deviazione standard della variazione della differenza tra V_{85i} , ossia la variabilità di $\Delta V_{SCII,i}$.
$I'_{SCII,m} = \frac{I_{SCII,m}}{20km/h}$	Indice di consistenza SCII media normalizzato
	Valor medio della variazione della differenza tra V_{85i} normalizzata sul valore massimo ammesso in relazione al <i>Safety criteria II</i> .
$I'_{SCII,\Delta} = \frac{I_{SCII,\Delta}}{20km/h}$	Indice di escursione della consistenza SCII normalizzato
	Massima variabilità normalizzata della differenza tra V_{85i} rispetto al valore massimo ammesso in relazione al <i>Safety criteria II</i> .
$I'_{SCII,\sigma} = \frac{I_{SCII,\sigma}}{20km/h}$	Indice di variazione della consistenza SCII normalizzato
	Deviazione standard normalizzata della variazione della differenza tra V_{85i} sul valore massimo ammesso in relazione al <i>Safety criteria II</i> .

Tabella IV.4 - Indici di sicurezza: *Safety criteria II*.

L'applicazione di questo metodo richiede un processo di elaborazione più complesso. È infatti necessario analizzare le caratteristiche geometriche del tracciato al fine di determinare le porzioni di tracciato le quali velocità devono essere confrontate. Per effettuare tale analisi si sono quindi individuare le successioni di punti aventi lo stesso valore di CCR

locale, come evidenziato in Figura IV.4.

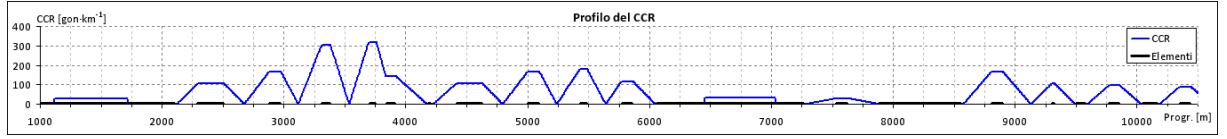


Figura IV.4 - Riconoscimento geometrico di porzioni omogenee di tracciato: *Safety criteria II*.

La qualità dei dati d'origine influenza la possibilità di avere un profilo di CCR ricostruito sufficientemente stabile da permetterne l'elaborazione ed il riconoscimento. Calcolando gli indici di Tabella IV.4 per il tracciato di esempio riportato in Figura IV.2, si ottengono i seguenti valori:

$$I_{SCII,m} = \frac{\sum_{i=2}^N [\Delta V_{SCII,i} \cdot L_i]}{L_T} = 0.77 \text{ km/h} \quad \text{Indice di consistenza } SCII \text{ medio}$$

$$I_{SCII,\Delta} = [\max \Delta V_{SCII,i} - \min \Delta V_{SCII,i}] = 29.77 \text{ km/h} \quad \text{Indice di escursione della consistenza } SCII$$

$$I_{SCII,\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [\Delta V_{SCII,i} - I_{SCII,m}]^2}{n}} = 5.96 \text{ km/h} \quad \text{Indice di variazione della consistenza } SCII$$

$$I'_{SCII,m} = \frac{I_{SCII,m}}{20 \text{ km/h}} = 0.04 \quad \text{Indice di consistenza } SCII \text{ media normalizzato}$$

$$I'_{SCII,\Delta} = \frac{I_{SCII,\Delta}}{20 \text{ km/h}} = 1.49 \quad \text{Indice di escursione della consistenza } SCII \text{ normalizzato}$$

$$I'_{SCII,\sigma} = \frac{I_{SCII,\sigma}}{20 \text{ km/h}} = 0.30 \quad \text{Indice di variazione della consistenza } SCII \text{ normalizzato}$$

L'andamento delle differenze esistenti le V_{85} dei differenti elementi rispetto alla progressiva è rappresentato graficamente in Figura IV.6.

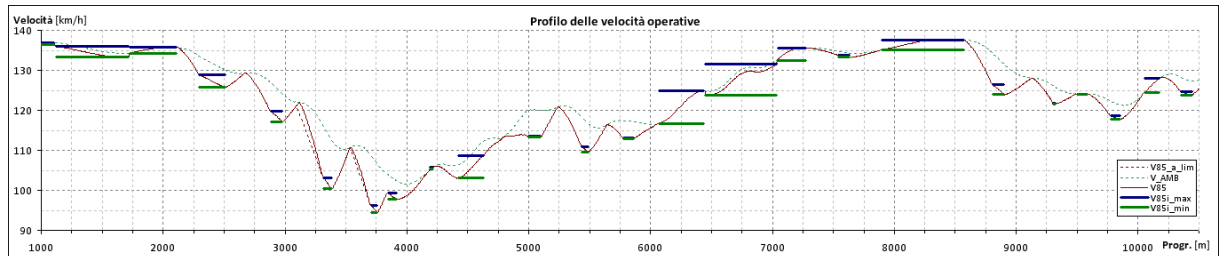


Figura IV.5 - Andamento delle differenze esistenti le V_{85i} : *Safety Criteria II*.

Si evidenzia che nei tratti identificati come geometricamente omogenei la velocità

operativa è variabile in un determinato range, sarebbe quindi formalmente errato considerare un solo valore di confronto tra elementi successivi. Al fine di effettuare tale confronto, si è considerato il valor medio della velocità operativa $\bar{V}_{85,i}$ calcolato per ciascun tratto, determinando in base a questo il valore di $\Delta V_{SCII,i}$. I valori limiti di accettabilità proposti da Lamm sono stati ottenuti, invece, sottraendo ai valori convenzionali gli scarti massimi della V_{85} dalla velocità operativa media dell'elemento precedente, come riportato nello schema di Tabella IV.5.

Elemento i	Scarti di V_{85}	Scarti Lamm - Elem. $i+1$		Scarti CCV_{AMB} - Elem. $i+1$	
		Buono	Accettabile	Buono	Accettabile
V_{85,i_min}	$\Delta V_{SCII,i_min} = (\bar{V}_{85,i} - V_{85,i_min})$	10	20	$10 - \Delta V_{SCII,i_min}$	$20 - \Delta V_{SCII,i_min}$
$\bar{V}_{85,i}$	-	-	-		
V_{85,i_max}	$\Delta V_{SCII,i_max} = (\bar{V}_{85,i} - V_{85,i_max})$	10	20	$10 - \Delta V_{SCII,i_max}$	$20 - \Delta V_{SCII,i_max}$

Tabella IV.5 - Valori limite confronto V_{85} : *Safety Criteria II*.

L'applicazione di questo metodo al tracciato di esempio fornisce per i tratti $i=16$ ($Pr.6067\div6437$) e $i=17$ ($Pr.6452\div7032$) i valori limite riportati in Tabella IV.6, mentre il risultato complessivo dell'analisi è rappresentato in Figura IV.6.

Elemento 16	Scarti di V_{85}	Scarti CCV_{AMB} - Elem. $i+1$		Velocità limite CCV_{AMB} - Elem. $i+1$	
		Buono	Accettabile	Buono	Accettabile
$V_{85,i_min} = 116.699 \text{ km/h}$	4.426 km/h	-5.574 km/h	-15.574 km/h	$\geq 121.547 \text{ km/h}$	$\geq 111.547 \text{ km/h}$
$\bar{V}_{85,i} = 121.125 \text{ km/h}$	-			$\bar{V}_{85,i+1} = 127.89 \text{ km/h}$	
$V_{85,i_max} = 124.781 \text{ km/h}$	3.656 km/h	6.344 km/h	16.344 km/h	$\leq 133.465 \text{ km/h}$	$\leq 143.465 \text{ km/h}$

Tabella IV.6 - Valori limite V_{85} : *Safety Criteria II*. Tracciato di Esempio.

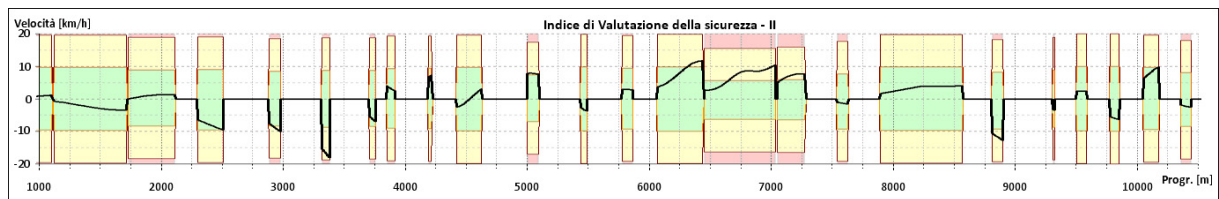


Figura IV.6 - Analisi del tracciato tramite gli indici di sicurezza: *Safety criteria II*.

Tramite l'analisi degli indici e la rappresentazione grafica, si apprezza la tendenza media del tracciato ad essere incluso nel "range accettabile", infatti $I_{SCII,m} = 0.77 \text{ km/h}$ e

$I_{SCII,\Delta} = 29.77 \text{ km/h}$ evidenziano l'assenza di punti con $\Delta V > 20 \text{ km/h}$ (essendo l'intervallo centrato e $I_{SCII,\Delta} < 40 \text{ km/h}$). Il valore $I_{SCII,\sigma} = 5.96 \text{ km/h}$ denota la tendenza a ricadere nel "range buono". $I'_{SCII,m} = 0.04$, $I'_{SCII,\Delta} = 1.49$ e $I'_{SCII,\sigma} = 0.30$ evidenziano le stesse tendenze tramite i valori normalizzati, avendosi un progetto *consistente* per $I \leq 1$, *accettabile* per $1 < I \leq 2$ e *non accettabile* se $I > 2$. In Figura IV.6 è evidenziato l'andamento degli scarti di V_{85i} ed i relativi campi di accettazione modificati secondo i criteri riassunti nella Tabella IV.5.

IV.4- Calcolo dell'incidentalità - Metodo HSM.

La valutazione del tracciato dal punto di vista della sicurezza non può trascendere da una stima dell'incidentalità che lo caratterizza. La recente pubblicazione dell'*Highway Safety Manual*, [67], permette di utilizzare i dati desumibili da procedure di RSA o RSR per determinare il numero di incidenti stradali previsti in funzione della tipologia di strada, della lunghezza L e dei flussi circolanti (*Annual Average Daily Traffic*) sul tronco in esame:

$$N_{spf,rs} = AADT \times L \times 10^{-6} \times e^{(-0.312)}$$

con $N_{spf,rs}$ = frequenza incidentale prevista per segmenti stradali in condizioni base.

Le condizioni base di riferimento sono espresse in Tabella IV.7 in cui sono riportati anche i relativi riferimenti ai contenuti dell'*HSM* necessari per determinare i parametri correttivi (*Accident Modification Factors*).

Base conditions for roadway segments on rural two-lane two-way roads (<i>Rural two-lane roads</i>)			
Lane width	12 feet	Exhibit 13.2/13.3	cfr. Figura IV.7
Shoulder width	6 feet	Exhibit 13.11/13.12	cfr. Figura IV.8
Shoulder type	Paved	Exhibit 13.15	cfr. Figura IV.9
Roadside hazard rating	3	Equation 10-20	
Driveway density	5 driveways	Equation 10-17	
Horizontal curvature	None	Equation 10-13	
Vertical curvature	None	Exhibit 10-19	
Centerline rumble strips	None	AMF_{7r}	
Passing lanes	None	AMF_{8r}	
Two-way left-turn lanes	None	Equation 10-18, 10-19	
Lighting	None	Equation 10-21, Exhibit 10-20	
Automated speed enforcement	None	AMF_{12r}	
Grade Level	0%	Exhibit 10-19	

Tabella IV.7 - Condizioni base di riferimento per il calcolo dell'incidentalità, [67].

Alcuni dei fattori correttivi AMF da applicare nel caso in cui vi siano delle difformità

con le condizioni ideali sono rappresentati nelle immagini seguenti in relazione a ciascuno aspetto considerato.

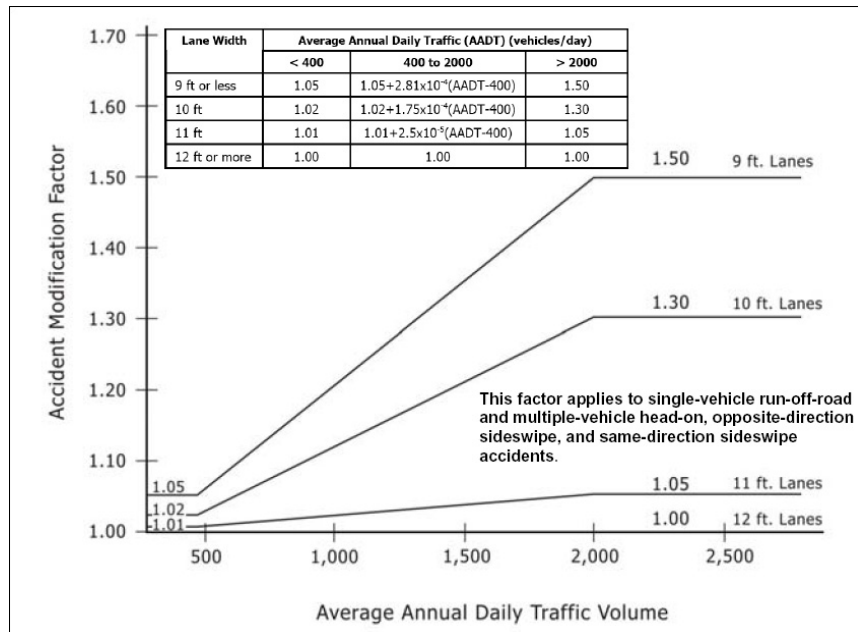


Figura IV.7 - H.S.M. Accident Modification Factors: Lane width. Exhibit 13.2/13.3.

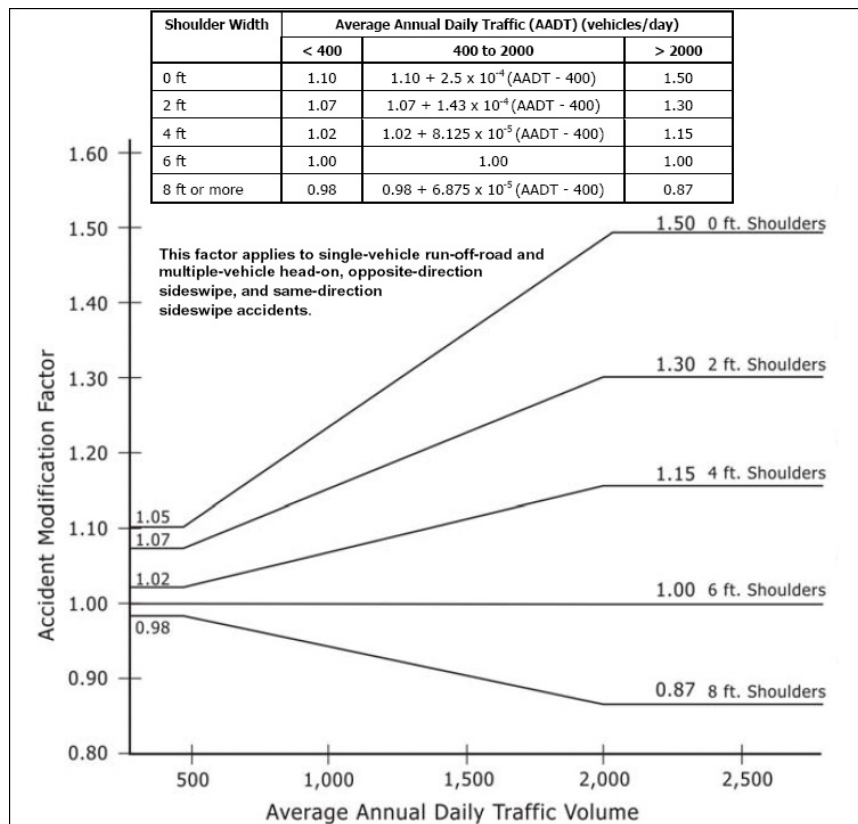


Figura IV.8 - H.S.M. Accident Modification Factors: Shoulder width. Exhibit 13.11/13.12.

Treatment	Setting (Road type)	Traffic Volume	Accident type (Severity)	AMF								
Modify Shoulder Type	Rural (Two-lane Roads)	Unspecified	Single-vehicle run-off-road accidents and multiple-vehicle head-on, opposite-direction sideswipe, and same-direction sideswipe collisions (Unspecified)	Shoulder type	Shoulder width (ft)							
					1	2	3	4	6	8	10	
				Paved	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
				Gravel	1.00	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02	1.03	
				Composite	1.01	1.02	1.02	1.03	1.04	1.06	1.07	
				Turf	1.01	1.03	1.04	1.05	1.08	1.11	1.14	
Base Condition: Paved shoulder												

Figura IV.9 - H.S.M. Accident Modification Factors: Shoulder type. Exhibit 13.15.

La geometria piana (*horizontal curvature*) è considerata attraverso la determinazione del parametro AMF_{3r} :

$$AMF_{3r} = \frac{(1.55 \times L_C) + \left(\frac{80.2}{R} \right) - (0.012 \times S)}{1.55 \times L_C} \quad \text{in cui}$$

AMF_{3r} Fattore correttivo dell'incidentalità totale relativo alla curvatura planimetrica;

L Lunghezza dell'arco di curva (miglia) e delle clotoidi se presenti;

R Raggio di curvatura (piedi);

S 1 in presenza di clotoidi; 0 in assenza di clotoidi; 0.5 in caso di presenza di clotoide ad una sola estremità dell'arco.

L'insieme dei parametri correttivi fornisce la stima del numero totale di incidenti per il tratto di strada analizzata $\bar{N}_{spf,rs}$ tramite la seguente formulazione (*rural roads*):

$$\bar{N}_{spf,rs} = N_{spf,rs} \cdot \prod_{j=1}^{12} AMF_{jr}.$$

IV.5 - Considerazioni

I criteri di sicurezza discussi nei paragrafi precedenti, rielaborati a seguito dell'implementazione delle teorie *RHT* e dell'uso del modello predittivo CCV_{AMB} , permettono di affinare le verifiche senza discostarsi dall'approccio convenzionale di letteratura. In Figura IV.10 è rappresentato il confronto dei risultati delle verifiche condotte secondo i due metodi. Risulta evidente l'apporto migliorativo fornito dal processo di verifica proposto che sostanzialmente si riassume nella possibilità di avere maggiore dettaglio nella definizione cinematica operativa e una conseguente diagnosi più realistica delle potenziali problematiche

che ne scaturiscono.

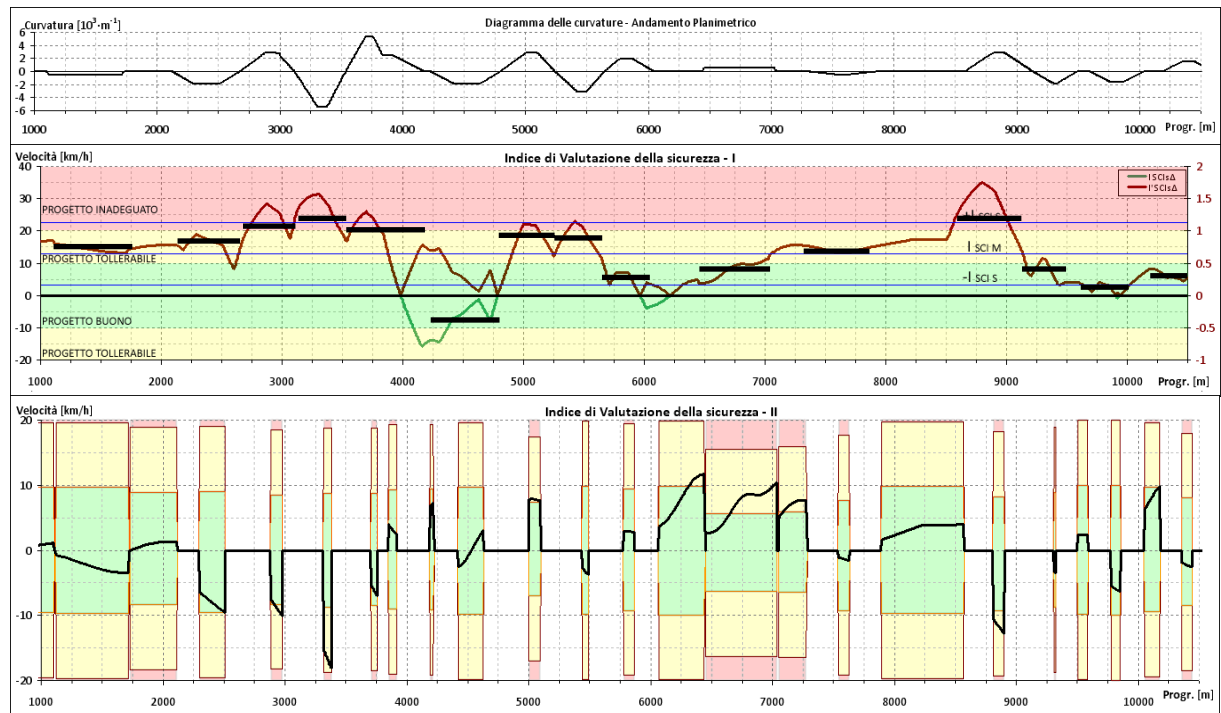


Figura IV.10 - Confronto risultati analisi di sicurezza.

Vi è inoltre la possibilità di valutare complessivamente il tracciato tramite gli indici definiti, al fine di determinare se le problematiche di inconsistenza sono circoscrivibili a localizzate anomalie geometrico-percettive o se il progetto dell'infrastruttura nel suo complesso è da ritenere inconsistente.

I risultati di dette analisi sono fortemente influenzati dalle V_{85} calcolate con il modello predittivo, risulta quindi necessario programmare un'estesa campagna di test al fine di validare l'applicazione del modello anche dal punto di vista quantitativo.

Capitolo V

-

ESEMPI APPLICATIVI SU BASE SPERIMENTALE.

V.1 - Premessa

Il modello predittivo CCV_{AMB} introdotto nei capitoli precedenti permette di tracciare il profilo delle velocità operative in funzione delle caratteristiche del tracciato. I parametri di calibrazione del modello sono stati determinati sulla base di dati sperimentali provenienti da test al simulatore di guida e da test di monitoraggio al vero delle velocità operative, misurate su determinate sezioni stradali. Il modello così calibrato è stato utilizzato per calcolare le velocità su diversi tracciati di studio, di cui si avevano le letture sperimentali della velocità. Benché la quantità di dati sperimentali utilizzati per la calibrazione del modello non è sufficiente ad estendere la validità dei parametri ottenuti alla generalità di contesti applicativi analoghi, la concordanza dei risultati ottenuti con quelli attesi lascia presupporre la correttezza della natura dei modelli. Si può ritenere, quindi, che a valle di una oculata procedura di validazione, l'attuale concordanza qualitativa possa essere affiancata anche da una corrispondenza quantitativa.

V.2- Calibrazione parametri modello predittivo di Velocità operativa

Il modello predittivo CCV è stato calibrato utilizzando i risultati di test di monitoraggio condotti su strade extraurbane secondarie. Le misurazioni sono state effettuate su differenti sezioni di studio, caratterizzate da differenti valori di CCR , appartenenti a diverse strade caratterizzate da diversi CCR_G . Le attrezzature utilizzate per i test (*VPL station*) sono state progettate e realizzate dal gruppo di ricerca dell'*Area Strade* del *Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale* in occasione della tesi di Laurea Specialistica dell'Ing. Paolo Luteri, che ha riguardato *Tecniche di osservazione sperimentale dei parametri cinematici nei flussi veicolari*, [65].

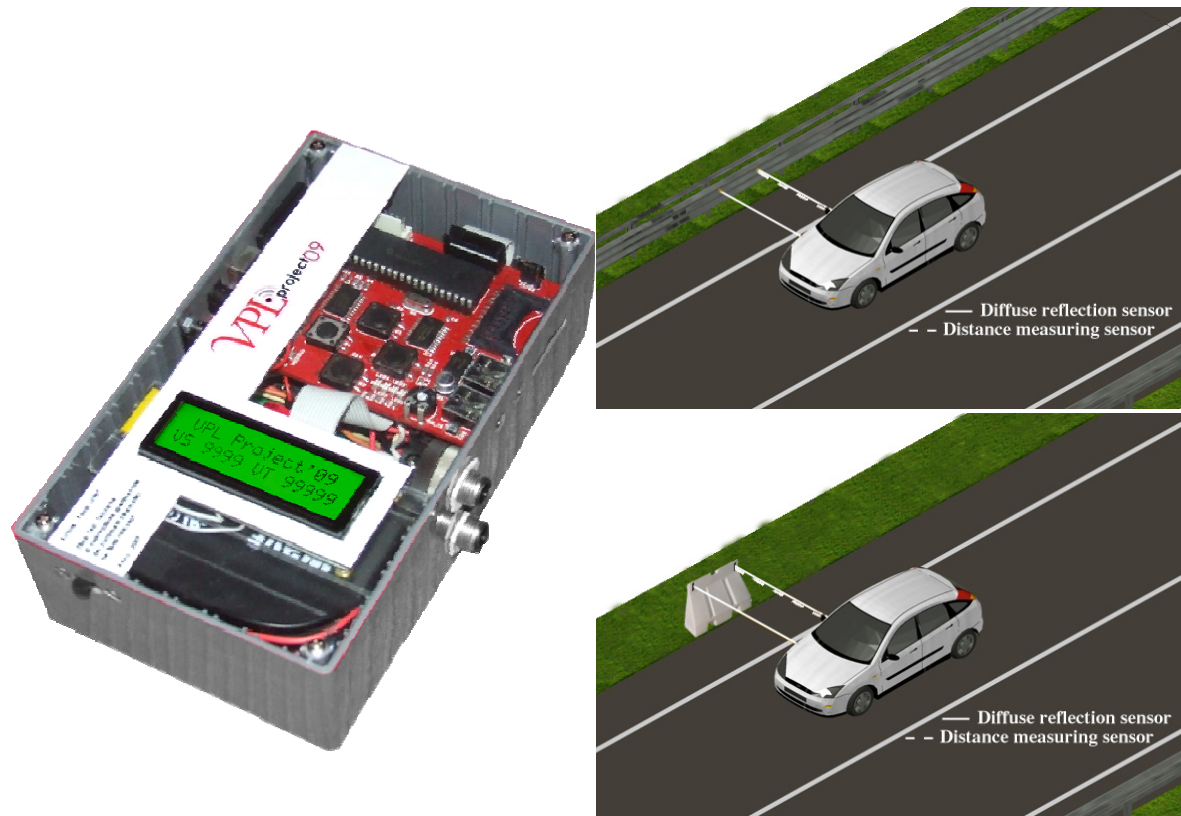


Figura V.1 - Stazione di monitoraggio VPL, [64].

La stazione di misura VPL, Figura V.1, permette misurare ed archiviare dati di Velocità, Posizione (dislocamento trasversale del veicolo) e Lunghezza dei veicoli. In questo modo è stato possibile determinare la classe del veicolo monitorato ed escludere alcune tipologie dalla definizione delle velocità operative relative a ciascuna sezione, Figura V.2.

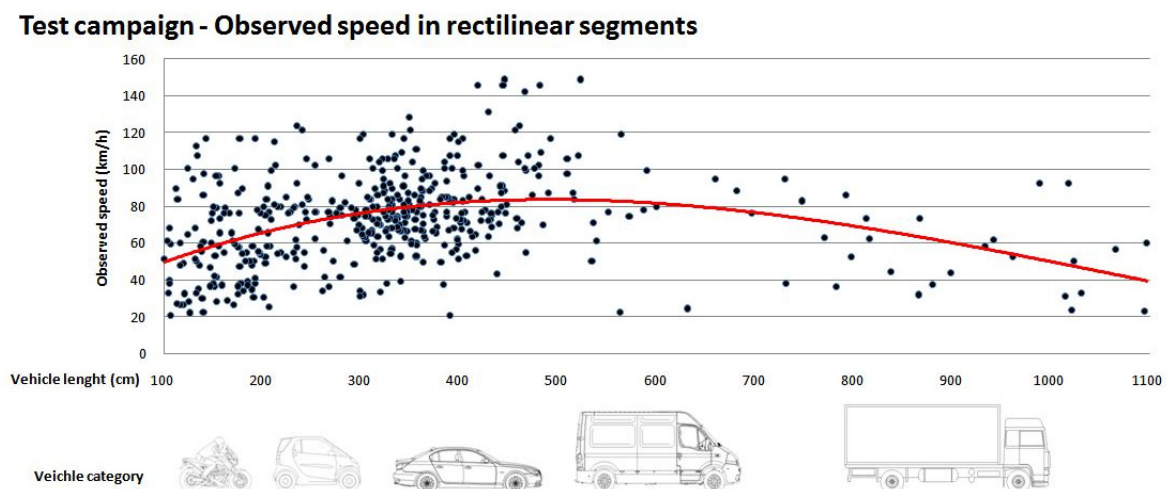


Figura V.2 - Lunghezza e classe dei veicoli, [64].

I tracciati monitorati sono antecedenti all'attuale normativa di riferimento per la progettazione geometrica delle infrastrutture, [8], ma sono assimilabili, a livello della sola funzionalità, alle categorie C ed F extraurbane. Le strade monitorate e le relative caratteristiche geometriche sono rappresentate in Figura V.3, Figura V.4, Figura V.5, Figura V.6, Figura V.7, Figura V.8 e riassunte in Tabella V.1.

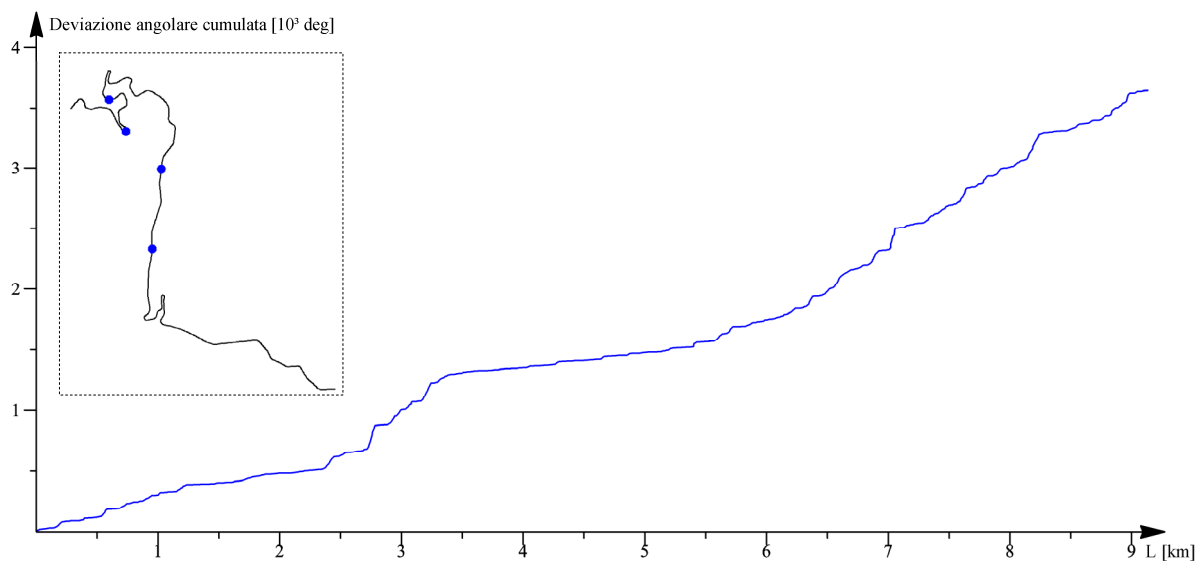


Figura V.3 - Strada monitorata di Classe A - Via Marcigliana.

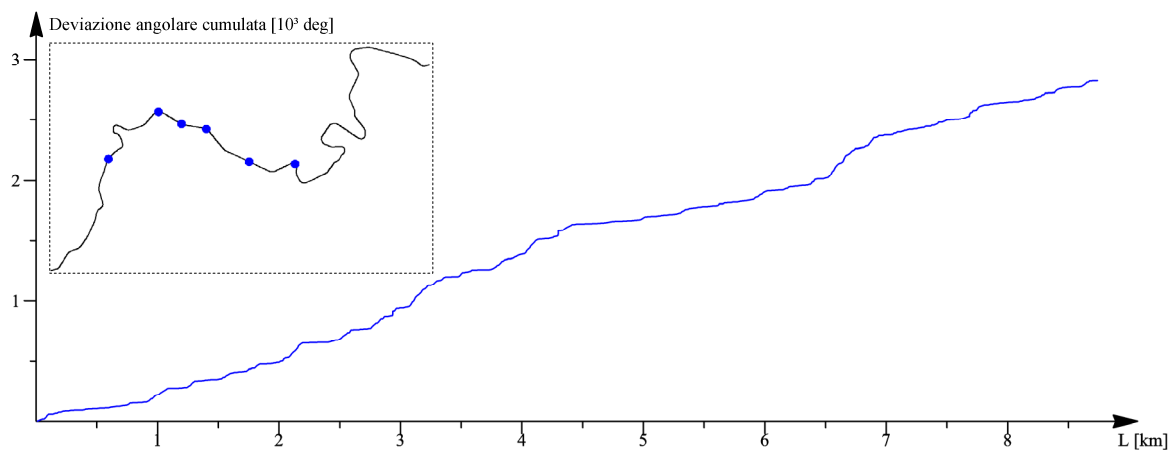


Figura V.4 - Strada monitorata di Classe A - Via della Giustiniana.

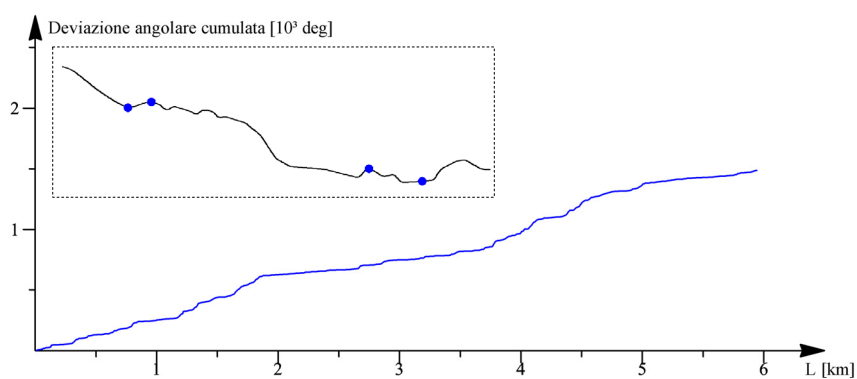


Figura V.5 - Strada monitorata di Classe B - Via di Porta Medaglia.

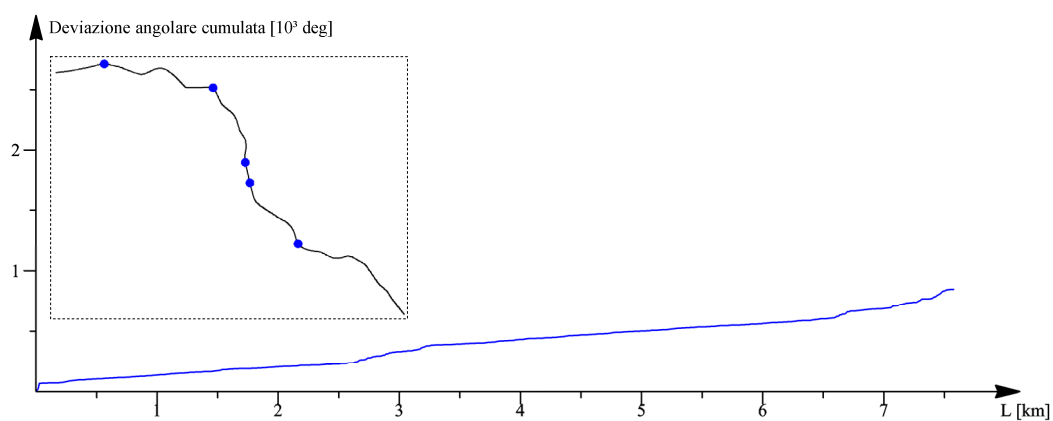


Figura V.6 - Strada monitorata di Classe B - Via Braccianese.

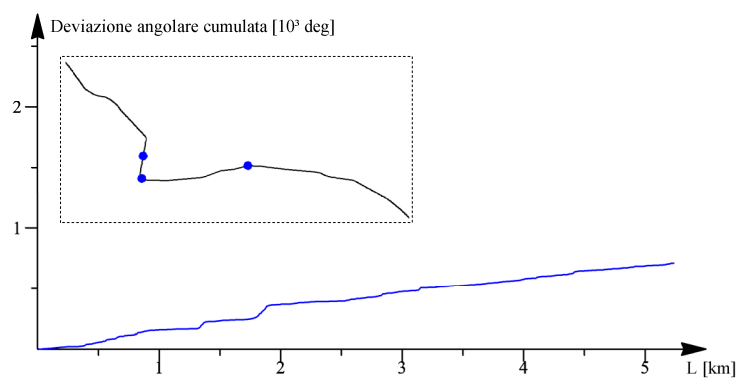


Figura V.7 - Strada monitorata di Classe C - Via di Trigatoria.

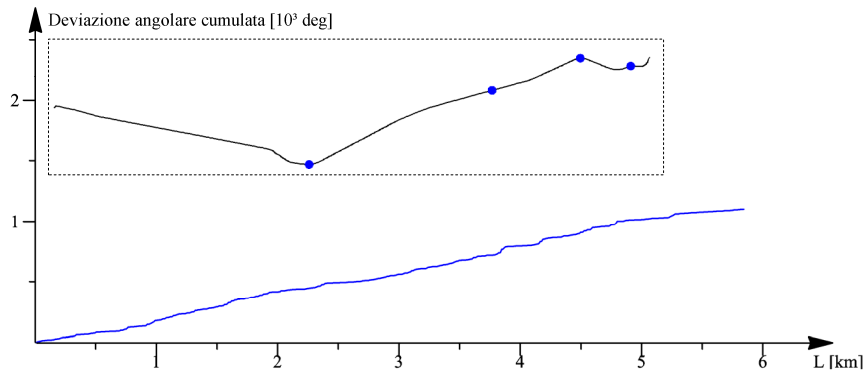


Figura V.8 - Strada monitorata di Classe C - Via di Malagrotta, Via di Ponte Galeria.

Classe CCR_G	Strada	CCR_G (deg/km)
A	Via Marcigliana	399.049
	Via della Giustiniana	322.871
B	Via di Porta Medaglia	249.8943
	Via Braccianese	189.043
C	Via di Trigatoria	145.642
	Via di Malagrotta - Via di Ponte Galeria	114.741

Tabella V.1 - Strade monitorate, Classi CCR_G , [65].

Dalle regressioni dei modelli sui dati sperimentali si sono quindi ottenuti i valori numerici dei parametri di calibrazione del modello, alcuni dei quali rappresentati in figura in funzioni delle diverse classi di CCR_G , Figura V.9.

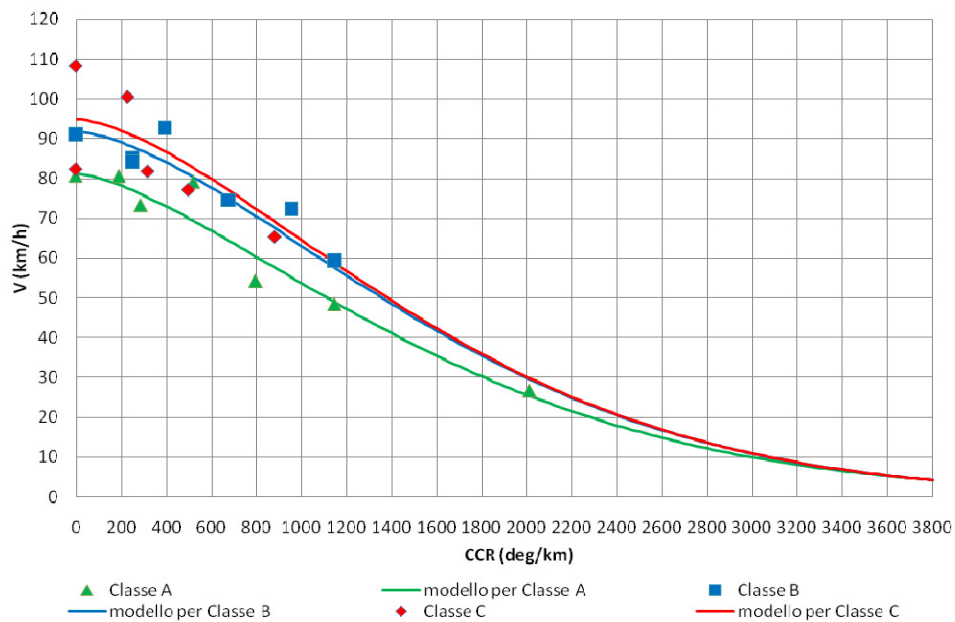


Figura V.9 - Regressioni sui dati sperimentali, [65].

In particolare si sono ottenuti i seguenti parametri di calibrazione:

$$V = V(CCR, V_0, CCR_m, V_m) = V_0 \cdot e^{\left[\left(\frac{CCR}{CCR_m} \right)^y \cdot \ln \left(\frac{V_m}{V_0} \right) \right]}$$

Classe	V_0 [km/h]	CCR_m [deg/km]	V_m [km/h]	y
A	81.22359	3800	10	1.47723
B	91.62384	3800	10	1.58420
C	94.81982	3800	10	1.56817

Tabella V.2 - Parametri di calibrazione modello CCV.

I valori V_m e CCR_m sono stati imposti al fine di effettuare le regressioni, i valori di V_0 sono sostituiti dai valori di V_{Amb} stimati dal modello predittivo specifico, il valore di y è stato posto pari a 1.54, media dei valori delle differenti classi, essendo formalmente scorretto effettuare una regressione più particolareggiata dato il numero limitato di valori disponibili.

V.3 - Calibrazione parametri modello predittivo di Velocità ambientale e CCV_{AMB} .

Il modello predittivo della velocità ambientale è stato calibrato sulla base dei risultati ottenuti nei test al simulatore di guida *SDS* (*Sapienza Driving Simulator*), Figura V.10, tramite la modellazione di specifici tracciati di studio, [66].



Figura V.10 - Sapienza Driving Simulator.

In particolare si è modulata la lunghezza del tratto di influenza L_{Last} ed il valore del

coefficiente x su una porzione di strada denominata *Tracciato A*. Successivamente i parametri di calibrazione hanno permesso di usare il modello combinato CCV_{AMB} per calcolare i profili delle velocità operativa su ulteriori tracciati, definiti *Tracciato B* e *Tracciato C*, le cui velocità operative sono state analizzate in realtà virtuale e confrontate con i profili ottenuti dal modello predittivo (cfr. paragrafo V.4). Le caratteristiche dei tracciati ricostruiti in ambiente virtuale sono riassunte nei grafici dalla Figura V.11 alla Figura V.13.

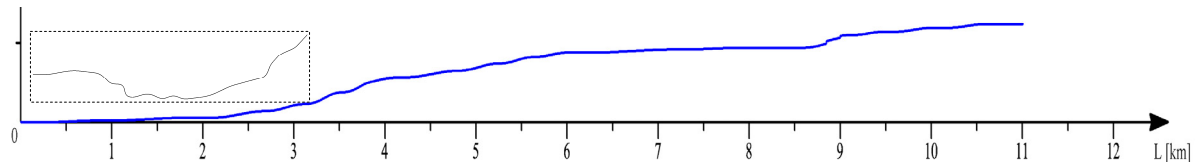


Figura V.11 - Deviazione angolare cumulata - Tracciato A, [66].

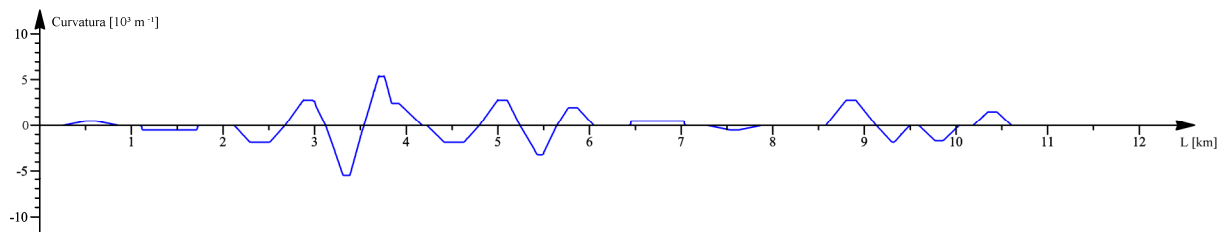


Figura V.12 - Andamento delle curvature - Tracciato A, [66].

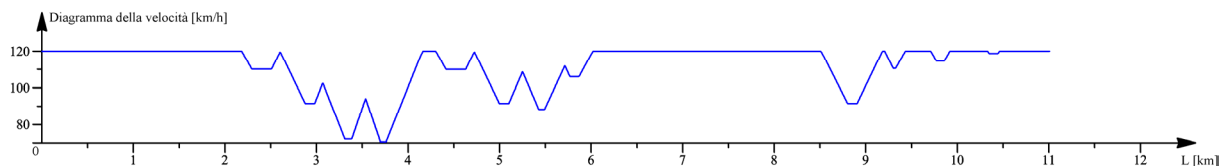


Figura V.13 - Diagramma delle velocità - Tracciato A, [66].

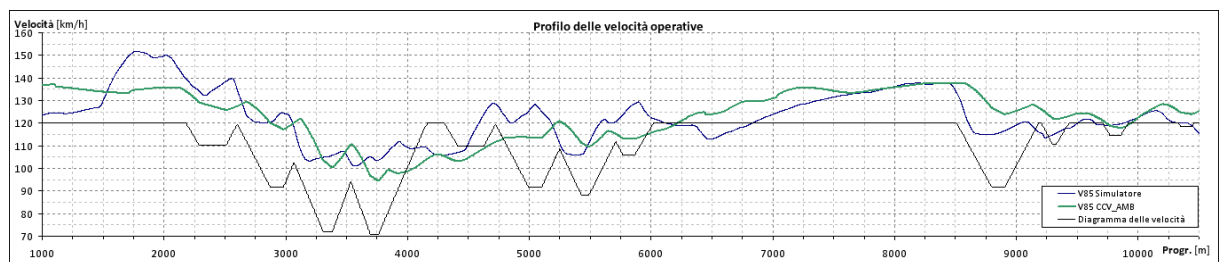


Figura V.14 - Confronto tra velocità operative sperimentali e calcolate con il modello CCV_{AMB} .

Il confronto tra i profili ottenuti dai test e quelli calcolati con il modello predittivo espresso in Figura V.14, mostra come i due profili di velocità siano molto simili tra loro, anche se quello determinato con il modello CCV_{AMB} risulta “appiattito” rispetto al profilo sperimentale ottenuto nel simulatore di guida. Ciò probabilmente dipende da un impreciso

valore dei parametri di calibrazione, in particolare si suppone che la velocità V_0 debba essere aumentata, mentre debba essere ridotto il valore di y al fine di aumentare la correlazione tra geometria e V_{85} . Tali operazioni di adattamento quantitativo tra i due valori risultano tuttavia estranee alle finalità di questa studio, essendo obiettivo della presente ricerca determinare strumenti che rispondano ad un approccio risolutivo più esteso piuttosto che rendere direttamente applicabile il metodo esposto a casi reali. Per questa finalità è opportuna una fase estesa di indagine sperimentale che, da sufficienti dati numerici reali, possa rendere conclusive non solo le tecniche di indagine ma anche la generalità della loro applicazione.

Dall'analisi del diagramma di Figura V.14 risulta evidente una certa concordanza di tendenza tra i due profili di V_{85} , sia nell'assumere generalmente valori maggiori delle velocità desunte dal Diagramma delle Velocità di progetto sia nell'essere una sorta di "specchio" delle variazioni geometriche dell'asse, aspetto che talvolta svanisce nel Diagramma delle Velocità di progetto (nei tratti in cui $R \geq R^*$, [8]). In Figura V.21 sono evidenziate tali concordanze, evidenziando come, tramite il profilo delle V_{85} , sia possibile effettuare delle considerazioni sulla variazione delle velocità lungo tutto il tracciato, non solo in corrispondenza del passaggio tra gli elementi successivi che lo compongono.

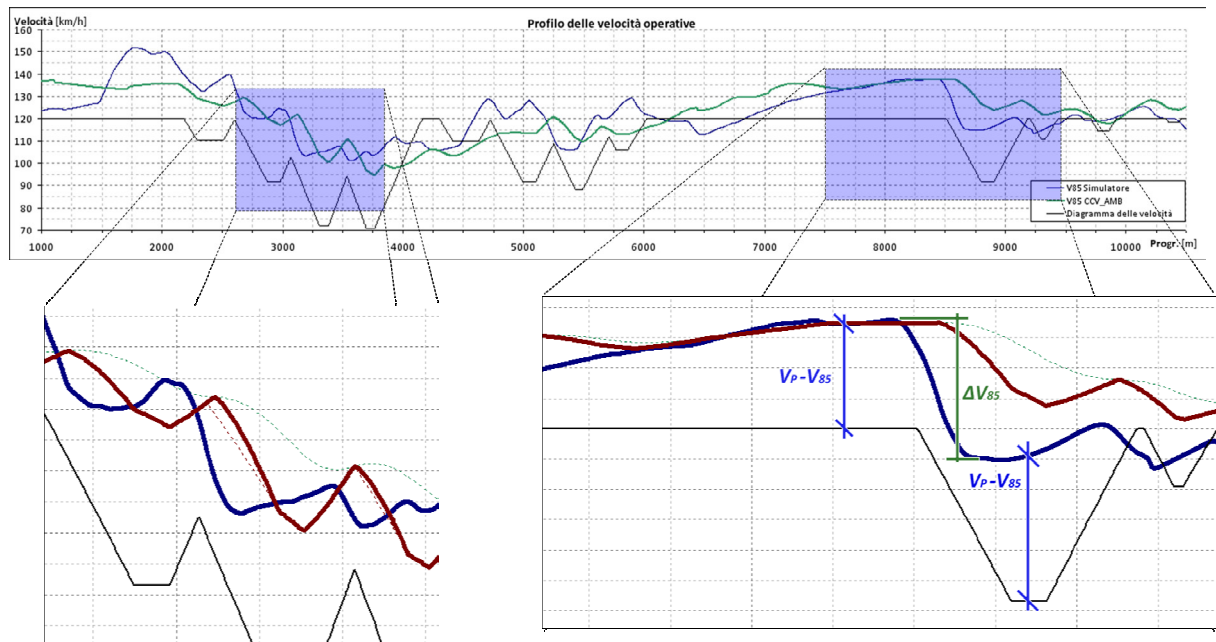


Figura V.15 - Peculiarità del metodo proposto.

Nell'immagine precedente è evidenziata, inoltre, anche una ulteriore considerazione

effettuata nel tracciamento del diagramma delle V_{85} : qualora le accelerazioni/decelerazioni ottenute dall'applicazione del modello predittivo siano superiori in modulo al valore atteso, il profilo delle velocità è adeguato alle velocità inferiori raggiungibili, in accordo con i modelli predittivi di letteratura (cfr, Figura II.17, [28]).

Lo studio che ha riguardato il tracciato A ha fornito per i parametri di calibrazione i valori riportati in Tabella V.3.

Tracciato	$L_{LAST} [m]$	x
A	1200	0.80

Tabella V.3 - Parametri di calibrazione modello CCV_{AMB} .

V.4 - Indici di valutazione della sicurezza - Esempi.

Il modello CCV_{AMB} calibrato secondo quanto descritto nel capitolo precedente, è stato applicato a due tracciati ricostruiti in realtà virtuale e soggetti a test sperimentali dei quali si sono ricostruiti i profili delle velocità operative. I tracciati, denominati *Tracciato B* e *Tracciato C*, hanno le caratteristiche geometriche riassunte nelle immagini riportate da Figura V.16 a Figura V.18 e da Figura V.20 a Figura V.22 rispettivamente.

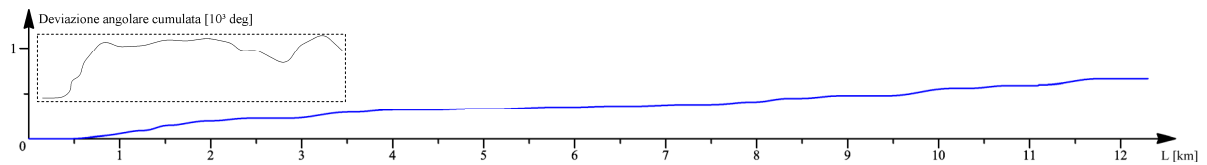


Figura V.16 - Deviazione angolare cumulata - Tracciato B, [66].

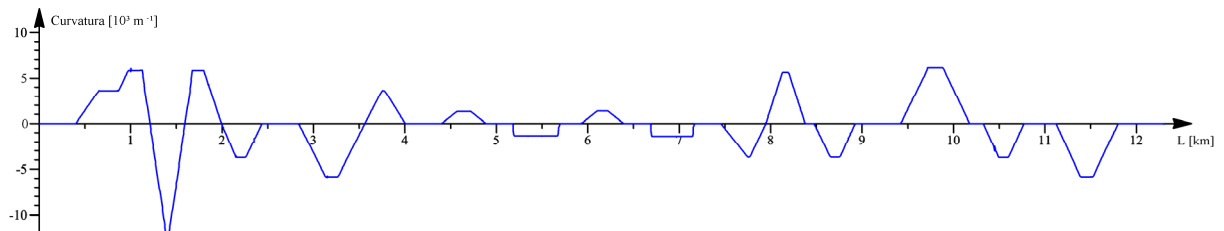


Figura V.17 - Andamento delle curvature - Tracciato B, [66].

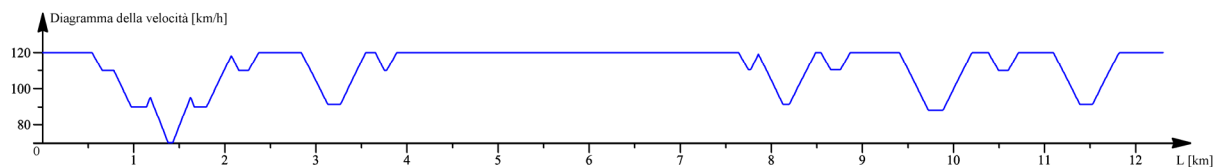


Figura V.18 - Diagramma delle velocità - Tracciato B, [66].

Gli indici calcolati per il Tracciato B, rappresentati graficamente in Figura V.19, sono

riportati in Tabella V.4.

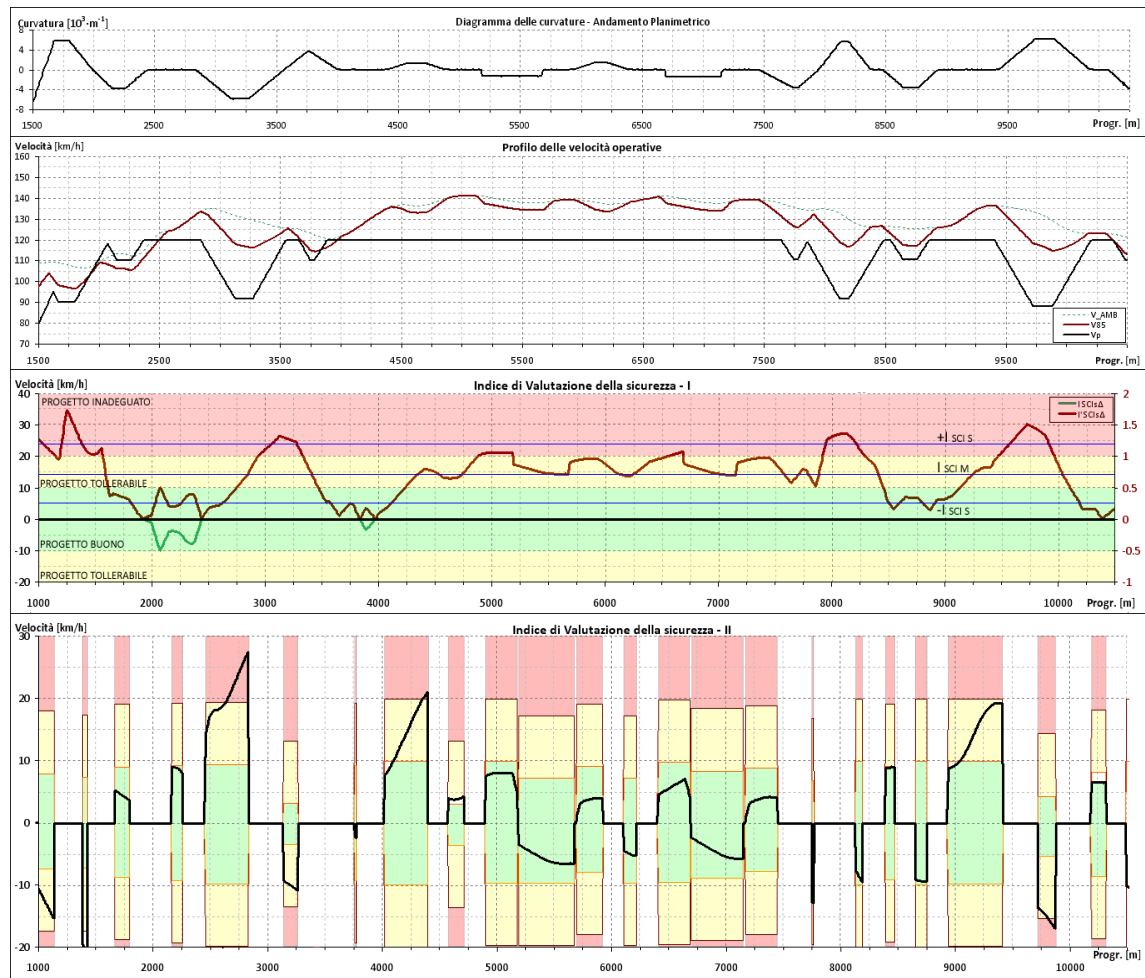


Figura V.19 - Analisi di sicurezza relativa al Tracciato B

Indice	Valore	Valore normalizzato	
$I_{V_{p,m}}$	110.78km/h	-	-
$I_{V_{p,A}}$	49.75km/h	$I'_{V_{p,A}}$	44.91%
$I_{V_{p,\sigma}}$	12.09km/h	$I'_{V_{p,\sigma}}$	10.92%
$I_{V_{85,m}}$	124.98km/h	-	-
$I_{V_{85,A}}$	53.22km/h	$I'_{V_{85,A}}$	42.58%
$I_{V_{85,\sigma}}$	11.30km/h	$I'_{V_{85,\sigma}}$	9.04%
$I_{SCL,m}$	14.22km/h	$I'_{SCL,m}$	0.71
$I_{SCL,A}$	44.64km/h	$I'_{SCL,A}$	2.23
$I_{SCL,\sigma}$	8.78km/h	$I'_{SCL,\sigma}$	0.44
$I_{SCIL,m}$	0.09km/h	$I'_{SCIL,m}$	0.00
$I_{SCIL,A}$	49.01km/h	$I'_{SCIL,A}$	2.45
$I_{SCIL,\sigma}$	11.52km/h	$I'_{SCIL,\sigma}$	0.58

Tabella V.4 - Indici di qualità relativi al Tracciato B.

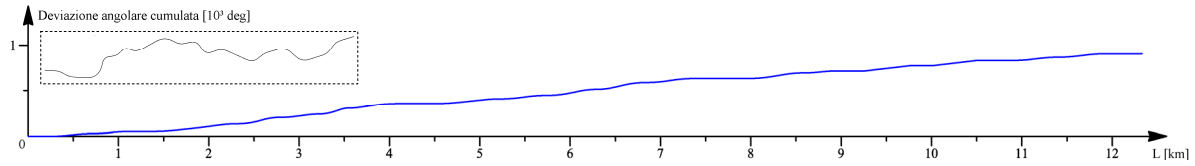


Figura V.20 - Deviazione angolare cumulata - Tracciato C, [66].

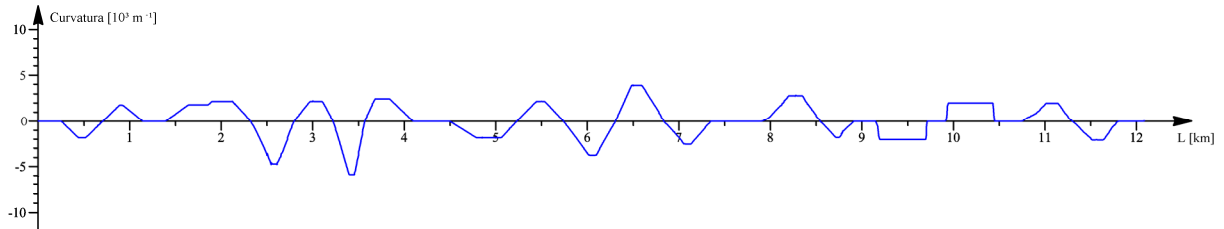


Figura V.21 - Andamento delle curvature - Tracciato C, [66].

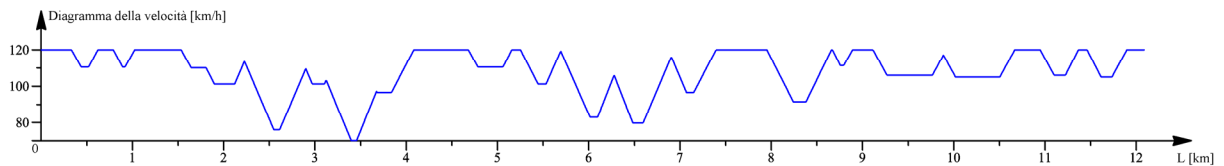


Figura V.22 - Diagramma delle velocità - Tracciato C, [66].

Gli indici calcolati per il Tracciato C, riportati in Tabella V.5, sono rappresentati graficamente in Figura V.23.

Indice	Valore	Valore normalizzato	
$I_{Vp,m}$	106.32km/h	-	-
$I_{Vp,\Delta}$	49.75km/h	$I'_{Vp,\Delta}$	46.80%
$I_{Vp,\sigma}$	11.81km/h	$I'_{Vp,\sigma}$	11.11%
$I_{V85,m}$	125.36km/h	-	-
$I_{V85,\Delta}$	51.85km/h	$I'_{V85,\Delta}$	41.36%
$I_{V85,\sigma}$	9.55km/h	$I'_{V85,\sigma}$	7.62%
$I_{SCI,m}$	19.06km/h	$I'_{SCI,m}$	0.95
$I_{SCI,\Delta}$	45.01km/h	$I'_{SCI,\Delta}$	2.25
$I_{SCI,\sigma}$	8.18km/h	$I'_{SCI,\sigma}$	0.41
$I_{SCII,m}$	0.74km/h	$I'_{SCII,m}$	0.04
$I_{SCII,\Delta}$	45.50km/h	$I'_{SCII,\Delta}$	2.27
$I_{SCII,\sigma}$	8.82km/h	$I'_{SCII,\sigma}$	0.44

Tabella V.5 - Indici di qualità relativi al Tracciato C.

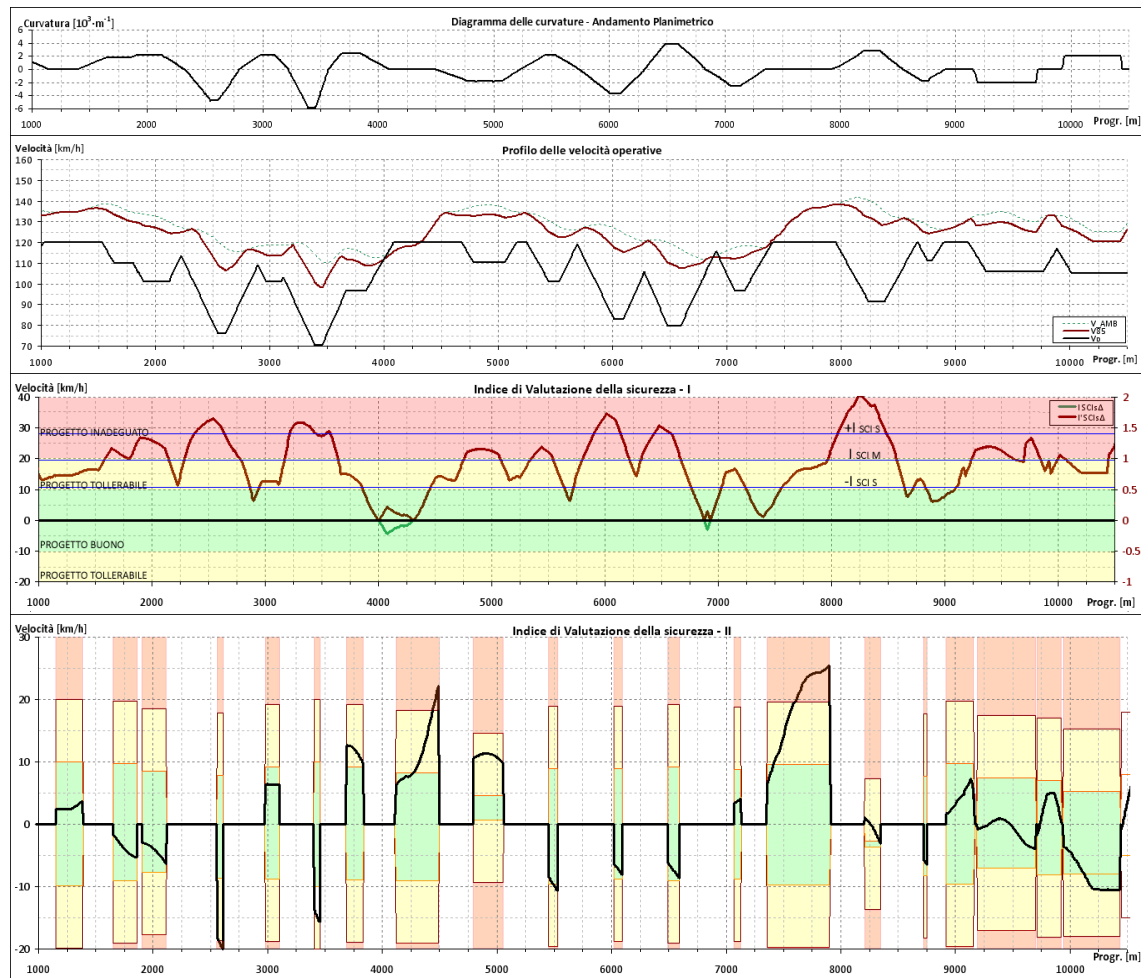


Figura V.23 - Analisi di sicurezza relativa al Tracciato C.

V.5- Conclusioni

Dalla calibrazione del modello predittivo CCV_{AMB} si possono effettuare alcune considerazioni generali sull'applicabilità del metodo e sulle criticità che esso presenta. In primo luogo deve evidenziarsi la differente natura dei tracciati utilizzati per la calibrazione dei modelli predittivi. La calibrazione del modello CCV è stata effettuata su dati puntuali (misurati su delle determinate sezioni stradali) osservati su tracciati extraurbani a carreggiata unica, che come detto si possono associare per funzionalità ai tracciati di categoria C e F descritti dalla norma, [8], mentre la calibrazione del modello V_{AMB} è stata effettuata da dati sperimentali ottenuti in realtà virtuale su strade a carreggiate separate, assimilabili alla categoria stradale B, ossia extraurbana principale. Questa dissonanza ovviamente porta a delle incertezze sui dati ottenibili dal modello, ma, come esposto precedentemente, la finalità del presente lavoro rimane quella di migliorare la formalizzazione del comportamento dell'utente

stradale non in virtù del miglioramento di un coefficiente di correlazione, ma come perfezionamento della conformità tra comportamento utente e modello predittivo.

Questo perfezionamento è rappresentato come risultato grafico in Figura V.24, nella quale i parametri di calibrazione sono stati modificati al fine di rendere concordi, anche quantitativamente, le velocità operative. Tale risultato è ovviamente un artificio privo di valenza scientifica, mancando il sostegno della correlazione a dati sperimentali reali, ma fornisce un quadro assai confortante nel sottolineare la proprietà del profilo delle V_{85} ottenuto dal modello predittivo si “plasma” al profilo sperimentale (ottenuto dal simulatore).

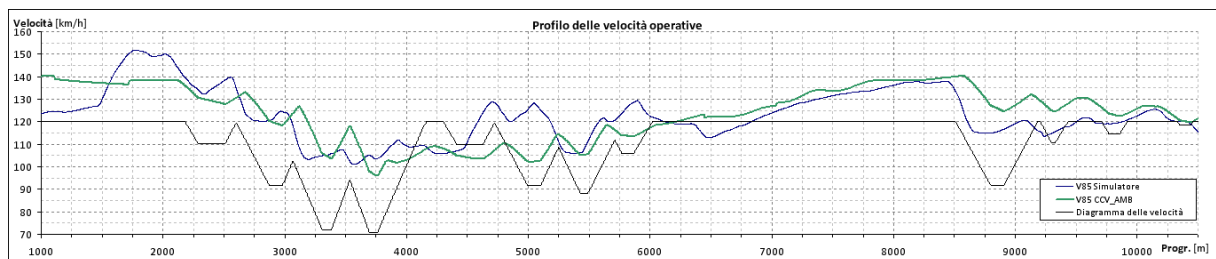


Figura V.24 - Calibrazione "ad hoc" su profilo delle V_{85} del simulatore.

Il risultato si manifesta ancor più confortante se si considera un disassamento tra le progressive reali e quelle di calcolo. Si è effettuata infatti la considerazione che l'utente stradale adatta la sua velocità in risposta agli stimoli visivi che riceve dall'infrastruttura, ma che sono mirati a valutare le caratteristiche geometriche della sezione stradale che si appresta a oltrepassare, non quella in cui si trova al momento della loro valutazione. Questo comportamento genera un anticipo della variazione di velocità di percorrenza, mediato dai tempi di attuazione della manovra, che determina uno sfasamento spaziale tra diagramma delle curvature e diagramma delle velocità operative. Quantificando questo sfasamento e diagrammando il risultato si giunge ad una sovrapposizione pressoché perfetta dei diagrammi delle V_{85} come rappresentato in Figura V.25.

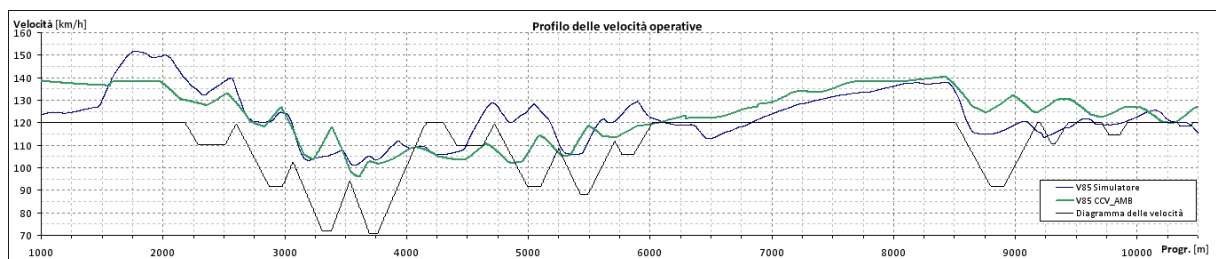


Figura V.25 - Applicazione del fenomeno di anticipazione dell'utente.

Sono da evidenziare alcune criticità intrinseche nell'applicazione del processo di analisi proposto. La determinazione della velocità ambientale dalla porzione di tracciato antecedente alla sezione si studio, fa sì che si perdano dei dati nel processo di elaborazione, risultando indeterminato il valore di V_{AMB} in corrispondenza della porzione iniziale di tracciato lunga L_{Last} (a meno di determinare la V_{AMB} in modo diverso ledendo l'omogeneità procedurale). Una seconda criticità risiede nell'ipotesi di indipendenza dei coefficienti di calibrazione, che ha permesso di effettuare un processo di calibrazione disaccoppiato per ciascuno di questi parametri. La validità di tali ipotesi è da verificare in senso statistico tramite la valutazione dell'ipotesi nulla in riferimento a basi di dati sperimentali più estese.

Capitolo VI

-

CONCLUSIONI

VI.1 - Considerazioni generali sulle teorie di letteratura

Il comportamento dell'utenza stradale in relazione alla sicurezza dell'infrastruttura è studiato in diversi filoni di ricerca internazionale tramite approcci originali e distinti. Queste distinte filosofie interpretative raggiungono dei risultati talvolta puramente qualitativi e rappresentano, quindi, una pura formulazione concettuale dei modelli comportamentali dell'utenza stradale, senza che sia raggiunto uno strumento applicativo che ne permetta una diretta fruizione. È questo il caso della *Risk Homeostasis Theory* descritta nel *paragrafo II.2*, nel quale sono enunciati alcuni dei postulati fondamentali di tale approccio. Si introducono i concetti di rischio percepito e rischio *target* e la propensione dell'utente a modificare il suo comportamento in risposta alla tendenza di uguagliare i due valori di rischio. Tale teoria affronta anche i concetti di variabilità spaziale e temporale del rischio, anche se, come preannunciato, non sono forniti specifici strumenti di calcolo o aspetti quantitativi analizzabili che possano andare oltre la valutazione qualitativa del fenomeno. Nel *paragrafo II.3* sono state descritte le tecniche di analisi della sicurezza stradale che valutano la consistenza progettuale delle infrastrutture. Tali tecniche di *Design Consistency* utilizzano dei modelli predittivi del comportamento degli utenti e relazionano la geometria, perlopiù longitudinale, dell'infrastruttura alle velocità mantenute dall'utenza. Dall'analisi delle variazioni di questo parametro indiretto e dal confronto di questi valori con quelli delle velocità di progetto si perviene ad una valutazione comparativa degli elementi planimetrici ed una valutazione della qualità della progettazione del tracciato analizzato. Questo approccio applicativo è fortemente influenzato dall'affidabilità del modello predittivo che risulta determinante per poter giungere ad una valutazione conclusiva della consistenza. La teoria della *Design Consistency* si basa generalmente sulle caratteristiche longitudinali globali dell'infrastruttura inerenti la geometria

planimetrica, solo talvolta i modelli considerano come parametro di input la geometria trasversale o elementi distintivi di altro genere (dimensione delle corsie di marcia o delle banchine, presenza delle barriere di sicurezza, etc.). Queste caratteristiche sono, invece, analizzate da approcci di valutazione diretta della sicurezza, come le tecniche di *Road Safety Audit* e *Road Safety Review* descritte nel *paragrafo II.4*. Le procedure di RSA/RSR si propongono di analizzare ogni dettaglio caratterizzante l'infrastruttura ed il contributo che esso apporta alla sicurezza generale. Questo approccio non può prescindere da una osservazione diretta dell'infrastruttura e una caratterizzazione di dettaglio che i metodi della *DC* e *RHT* non richiedono.

VI.2 - Considerazioni sulla generalità del metodo proposto

Il metodo di analisi proposto nel *Capitolo III* e la valutazione della qualità progettuale del tracciato tramite gli indici quantitativi presentati nel *Capitolo IV* hanno tratto la loro ispirazione dalla applicabilità dei metodi di Design Consistency, ai quali si sono affiancati i criteri base della Risk Homeostasis Theory al fine di perfezionare, entro i limiti intrinseci del presente lavoro di ricerca, la modellazione del comportamento dell'utente, includendo concetti quantitativamente non affrontati dagli attuali metodi di analisi. Il proposito di generalizzare le tecniche di analisi proposte a differenti tipologie di tracciati stradali rimane in parte disatteso a causa della limitata campagna di indagine realizzata. Le problematiche connesse alla realizzazione del sistema di monitoraggio (realizzato per lo specifico proposito in occasione dell'attività di correlatore ad una tesi specialistica, [65]) non hanno però impedito di ottenere alcune conferme sperimentali sulla natura analitica dei modelli CCV e CCV_{AMB} , ottenendo dei valori di rappresentatività R^2 in linea con quelli caratteristici dei modelli di letteratura. La comparazione dei profili ottenuti dall'applicazione del modello CCV_{AMB} e quelli relativi ai dati sperimentali (dei precedenti test condotti al simulatore di guida) sono, altresì, di ulteriore conforto. I risultati di questo confronto, rappresentati nel *paragrafo V.4*, e la concordanza dei profili delle V_{85} rivelano una corretta interpretazione del comportamento degli utenti nella modellazione del modello predittivo, sia pur in assenza di una diretta corrispondenza con i valori numerici sperimentali. Una campagna sperimentale più estesa può portare a conciliare anche a livello numerico i due andamenti, riducendo le discrepanze esistenti tra questi.

VI.3 - Considerazioni sulle potenziali applicazioni del metodo

L'applicazione del modello CCV_{AMB} risulta particolarmente adatta a procedimenti di *screening* delle infrastrutture utili ad individuare le lacune progettuali più importanti. Nel processo di analisi della sicurezza stradale, esso si inserisce immediatamente prima dei processi di *RSA* e *RSR* o ad essi simultaneo. L'immediatezza dell'analisi condotta con i criteri esposti ed il livello di dettaglio dell'analisi di Road Safety possono infatti fornire un quadro completo per la valutazione della qualità dell'infrastruttura. La possibilità di utilizzare dati geometrici discreti per ottenere un profilo continuo delle V_{85} tramite il modello CCV_{AMB} ben si concilia con i metodi di indagine previsti dalle procedure *RSR*. Qualora non fossero note le caratteristiche progettuali dell'infrastruttura, l'acquisizione diretta delle coordinate geografiche risulta sufficiente ad ottenere una costruzione del profilo delle V_{85} tramite il modello predittivo proposto. Una applicazione simile è stata effettuata partendo dalle coordinate di tracciati stradali desunte dai *Database Geografici Stradali Navteq®*, [68].

VI.3.1 - Modello predittivo della velocità operativa - Applicazioni ITS.

La determinazione del profilo delle V_{85} da dati geometrici discreti, in particolare dalla serie di coordinate geografiche relative a specifici itinerari definiti sul *Database Geografici Stradali Navteq®*, permette di trarre delle informazioni più realistiche sui tempi di percorrenza dei diversi tragitti ipotizzati. La conoscenza *a priori* della velocità attesa per il tragitto permette inoltre di effettuare delle valutazioni sull'omogeneità del tracciato e di stimare l'eventuale presenza punti intrinsecamente pericolosi per l'utente, punti nei quali si hanno forti variazioni di velocità operativa o forti differenze tra velocità operativa e velocità di progetto, come evidenziato in Figura VI.1.

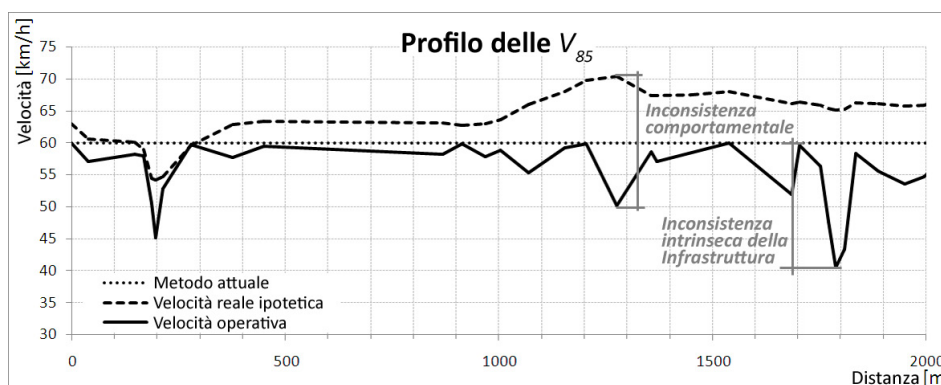


Figura VI.1 - Analisi del profilo delle V_{85} , [68].

La presenza di queste anomalie potrebbe essere fornita all'utente dallo stesso dispositivo di navigazione.

VI.3.2- Modello predittivo della velocità operativa - Ricerca dei punti neri

La ricerca delle porzioni di tracciato che presentano i rischi maggiori per l'utente stradale è la finalità principale del metodo. La ricostruzione e l'analisi del possibile comportamento dell'utente risultano componenti essenziali al raggiungimento di questo scopo. Lo strumento proposto, tramite gli indici di qualità geometrica e le analisi di sicurezza, permette di valutare in modo efficace e diretto la presenza di eventuali punti critici. Gli indici $I_{SCI,m}$, $I_{SCI,\Delta}$, $I_{SCH,m}$ e $I_{SCH,\Delta}$, in particolar modo, manifestano la presenza dei punti neri, i quali possono essere localizzati anche tramite l'analisi della rappresentazione grafica delle verifiche, come illustrato in

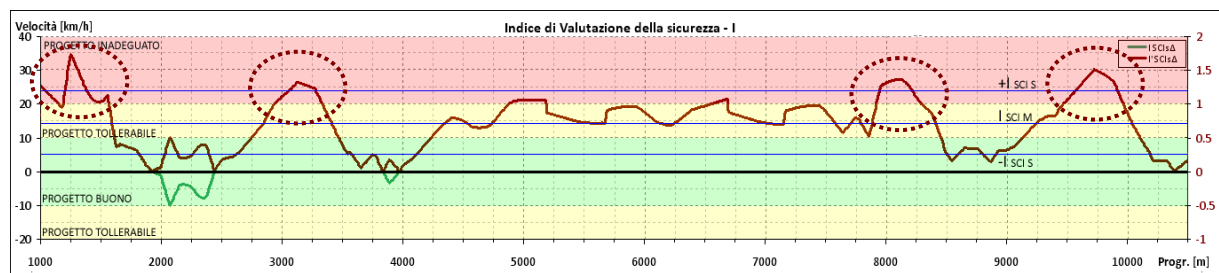


Figura VI.2 - Indici SCI: punti critici dell'infrastruttura.

L'applicazione del metodo, ovviamente, non risulta esaustiva ai fini della valutazione della sicurezza dell'infrastruttura, necessitano infatti delle analisi locali atte a valutare la presenza di eventuali difetti geometrico/costruttivi che non costituiscono campo di indagine del metodo proposto. A queste finalità rispondono procedure di dettaglio come le *RSA* e *RSR*, il metodo esposto si propone quindi come strumento di indagine aggiuntivo a quelli attualmente utilizzati.

Il presente lavoro di ricerca, nei limiti delle finalità propostesi, costituisce un tassello aggiuntivo all'attuale complesso panorama di analisi della sicurezza stradale. Avvalendosi delle principali teorie di letteratura, si è proposto di ampliare le connessioni tra queste tramite una considerazione complessiva degli aspetti trattati separatamente dai diversi filoni di ricerca. Il proposito di rendere più completa e realistica l'interpretazione del comportamento degli utenti nella condizione di fruizione dell'infrastruttura, si è scontrato con la carenza di dati sperimentali che potessero confermare appieno le ipotesi poste nel presente lavoro di

ricerca, come l'indipendenza delle calibrazioni dei modelli CCV e V_{AMB} . Queste ipotesi possono essere compiutamente confermate solo a valle di una estesa e mirata campagna di indagine sperimentale.

Appendice A - ROAD SAFETY AUDIT

A.1 - Check list Internazionali

Di seguito sono riportate alcuni estratti delle liste di Audit internazionali dei principali paesi in cui queste hanno avuto origine e sviluppo. Le liste di controllo sono straordinariamente simili tra loro, questo è principalmente dovuto alla completezza degli aspetti che esse elencano: curando infatti ogni aspetto caratterizzante l'infrastruttura tendono ad essere un'elencazione completa della definizione progettuale/costruttiva della strada, considerando in taluni casi anche gli aspetti operativi e gestionali della strada. Tali liste tendono ad essere simili tra loro anche a causa della sviluppo su base internazionale che le ha interessate, basato principalmente sulla ricerca di settore.

A.1.1 - Regno unito

Il regno unito ha messo a disposizione dei professionisti e degli enti gestori un utile strumento Web che fornisce all'utente delle liste interattive opportunamente filtrate in funzione delle caratteristiche del tratto di strada in analisi. Di seguito si riportano alcune tabelle relative a strade ad unica carreggiata.

Road Safety Audit Interactive Checklist Checklist

Design Element
Select the Design Element *

<input type="radio"/> Puffin	<input type="radio"/> Roundabout	<input type="radio"/> Zebra
<input type="radio"/> ATS	<input type="radio"/> Dual Roads	<input type="radio"/> Traffic Calming
<input type="radio"/> Toucan	<input checked="" type="radio"/> Single Roads	<input type="radio"/> Bus Priority
<input type="radio"/> Mini-roundabout	<input type="radio"/> Cycle Facilities	

Stage
Choose a Stage *

<input type="radio"/> Stage1	<input type="radio"/> Stage 3
<input type="radio"/> Stage1/2	<input checked="" type="radio"/> All Stages
<input type="radio"/> Stage 2	

Data
Type of Data *

<input checked="" type="radio"/> View Checklist	<input type="radio"/> View Collision Types	<input type="radio"/> View Document List
---	--	--

Figura A.1 - On-line interactive checklist, [69].

SINGLE ROADS SAFETY AUDIT CHECKLIST

STAGE: **1**

Comment	Main road user affected	Source of advice	Advice	Safety Issues Observed
Traffic flow reduction on old road will lead to higher speeds	All			
Tie-in issues, change in geometry (speed differential, visibility)	Drivers	TD 9/93		
Minor roads parallel to new mainline - vehicle incursion to mainline	Drivers			
Minor roads parallel to new mainline - headlight dazzle	Drivers			
Fog or mist issues on high speed roads - detection?	Drivers			
Appropriate design speeds for minor side road realignment, including HA, VA and superelevation issues	Drivers			
Lay-by issues, non-provision or inappropriate location	Drivers	TD 6/9/07		
'See through' issues along old alignment of diverted roads	Drivers			
Side road visibility issues at tie-in locations of roads	Drivers			
Roadside hazards (sign posts, lamp columns, telegraph poles, trees) and passive safety issues	Drivers	TD 19/06	General advice on the issues	
		TD 8/9/08		
Cross roads accident rates higher than other junction types	Drivers	TD 42/95		
Merge lanes on single carriageway side road junctions	Drivers	TD 42/95		
Safety fence / bridge parapets reduce forward visibility or side road visibility at junctions	Drivers	TD 19/06		
HA and VA issues, leading to poor overtaking	Drivers	TD 9/93	Figure 24 - Band 'C' curves	
Horizontal radii - loss of control issues	Drivers			
'Hidden dips' created by vertical alignment	Drivers	TD 9/93	Para 7.31 with regard to coordination of vertical and horizontal alignment	
Centreline road markings inconsistent with visibility and HA	Drivers	Traffic Signs Manual Ch 5	Section 4 gives overall advice	
Street lighting issues at major interchanges	Drivers			
Pedestrians, equestrian and cycle route provisions (inconsistent or lack of)	Pedestrian / cyclist	TA 90/05		
OTHER OBSERVATIONS/REMARKS				
OTHER OBSERVATIONS/REMARKS				
DATE				
AUDITORS				
FILE REFERENCES				

Tabella A.1 - RSA checklist stage 1, [69].

SINGLE ROADS SAFETY AUDIT CHECKLIST

STAGE: **1_2**

Comment	Main road user affected	Source of advice	Advice	Safety Issues Observed
Speed limit signing issues	All			
Safety fence / bridge parapets reduce forward visibility or side road visibility at junctions	Drivers	TD 19/06		
Side road visibility issues at tie-in locations of roads	Drivers			
Side road visibility issues onto roads	Drivers	TD 42/95		
Roadside hazards (sign posts, lamp columns, telegraph poles, trees) and passive safety issues	Drivers	TD 19/06	General advice on the issues	
		TD 8/9/08		
OTHER OBSERVATIONS/REMARKS				
OTHER OBSERVATIONS/REMARKS				
DATE				
AUDITORS				
FILE REFERENCES				

Tabella A.2 - RSA checklist stage 1/2, [69].

SINGLE ROADS SAFETY AUDIT CHECKLIST

STAGE: **2**

Comment	Main road user affected	Source of advice	Advice	Safety Issues Observed
Speed limit signing issues	All			
Cyclists returned to carriageway at a dangerous location	Cyclist			
Low parapet height a hazard for cyclists	Cyclists	TD 19/06		
Roadside hazards (sign posts, lamp columns, telegraph poles, trees) and passive safety issues	Drivers	TD 19/06	General advice on the issues	
		TD 8/9/08		
Short gaps in safety fence	Drivers	TD 19/06		
Working width issues of safety fence (to top of embankments, structures, lamp columns, other safety fence, posts etc)	Drivers	TD 19/06		
Minor roads parallel to new mainline - headlight dazzle	Drivers			
Ramped ends of safety fence are a hazard (including VCB ends) (high speed roads)	Drivers	TD 19/06		
Appropriate design speeds for minor side road realignment, including HA, VA and superelevation issues	Drivers			

Tabella A.3 - RSA checklist stage 2a, [69].

Comment	Main road user affected	Source of advice	Advice	Safety Issues Observed
Side road visibility issues at tie-in locations of roads	Drivers			
Tie-in issues, change in geometry (speed differential, visibility)	Drivers	TD 9/93		
Drainage features hazard to users	Drivers			
Kerb height issues adjacent to safety fence	Drivers	TD 19/06		
Minor roads parallel to new mainline - vehicle incursion to mainline	Drivers			
Safety fence not providing adequate protection or unprotected hazards	Drivers	TD 19/06		
Safety fence acts a 'trap' for vehicles	Drivers			
Water features require protection	Drivers	TD 19/06		
Vertical crest curve before horizontal bend	Drivers			
Side road visibility issues onto roads	Drivers	TD42/95		
Lay-by issues, non-provision or inappropriate location	Drivers	TD 69/07		
Post and rail fencing - rails on wrong side	Drivers			
Lamp columns located in run-off areas	Drivers			
Conspicuity of central reserve VCB	Drivers			
Noise barriers require protection	Drivers	TD 19/06		
Too much safety fence	Drivers	TD 19/06		
Tight radius safety fence may not be effective	Drivers	TD 19/06		
Safety fence / bridge parapets reduce forward visibility or side road visibility at junctions	Drivers	TD 19/06		
Inadequate warning signing of hazards (inappropriate sign sizes, or lack of)	Drivers			
Horizontal radii - loss of control issues	Drivers			
'See through' issues along old alignment of diverted roads	Drivers			
Filter drain material, poor appreciation of carriageway edge	Drivers			
Long parallel merge and diverge lanes - confusing	Drivers	TD 39/94		
		TD22/06		
Cross roads accident rates higher than other junction types	Drivers	TD 42/95		
Merge lanes on single carriageway side road junctions	Drivers	TD 42/95		
Fog or mist issues on high speed roads - detection?	Drivers			
HA and VA issues, leading to poor overtaking	Drivers	TD 9/93	Figure 24 - Band 'C' curves	
Changes in horizontal curvature coincident with vertical crest curves	Drivers	TD 9/93	Para 7.31 with regard to coordination of vertical and horizontal alignment	
Narrow carriageway - inability to pass other vehicles	Drivers			
Centreline markings on narrow carriageways should be omitted	Drivers	Traffic Signs Manual Ch 5	Para 4.6 - Markings should not be used on carriageways less than 5.5m	
Street lighting issues at major interchanges	Drivers			
Night time conspicuity of side road junctions	Drivers			
Signing of enforcement lay-bys	Drivers			
Street furniture located downstream of safety fence terminals	Drivers/workers			
Manhole covers located in live carriageway on high speed roads	Drivers/workers			
Motorcyclists striking wire fencing	Motorcyclists			
Pedestrians, equestrian and cycle route provisions (inconsistent or lack of)	Pedestrian / cyclist	TA 90/05		
OTHER OBSERVATIONS/REMARKS				
OTHER OBSERVATIONS/REMARKS				
DATE				
AUDITORS				
FILE REFERENCES				

Tabella A.4- RSA checklist stage 2b, [69].

SINGLE ROADS SAFETY AUDIT CHECKLIST

STAGE: 3

Comment	Main road user affected	Source of advice	Advice	Safety Issues Observed
Speed limit signing issues	All			
Roadside hazards (sign posts, lamp columns, telegraph poles, trees) and passive safety issues	Drivers	TD 19/06	General advice on the issues	
		TD 89/08		
Working width issues of safety fence (to top of embankments, structures, lamp columns, other safety fence, posts etc)	Drivers	TD 19/06		
Loose road surfacing causing skid hazard	Drivers			
Inadequate warning signing of hazards (inappropriate sign sizes, or lack of)	Drivers			
Tie-in issues, change in geometry (speed differential, visibility)	Drivers	TD 9/93		
Safety fence transitions between different types of fence	Drivers	TD 19/06		
Safety fence not providing adequate protection or unprotected hazards	Drivers	TD 19/06		
Inadequate direction signing to junctions	Drivers			
Ramped ends of safety fence are a hazard (including VCB ends) (high speed roads)	Drivers	TD 19/06		
Vertical crest curve before horizontal bend	Drivers			
Kerb height issues adjacent to safety fence	Drivers	TD 19/06		
Side road visibility issues onto roads	Drivers	TD42/95		
Water features require protection	Drivers	TD 19/06		
Safety fence height issues	Drivers	TD 19/06		
Side road visibility issues at tie-in locations of roads	Drivers			
Filter drain material, poor appreciation of carriageway edge	Drivers			
Filter drain material acting as wheel trap	Drivers			

Tabella A.5 - RSA checklist stage 3a, [69].

Comment	Main road user affected	Source of advice	Advice	Safety Issues Observed
Lack of kerbing to define carriageway edge at junctions	Drivers			
Edge of carriageway marking missing or mis-aligned	Drivers			
Poor reflective road studs provision	Drivers			
Post and rail fencing - rails on wrong side	Drivers			
Safety fence acts a 'trap' for vehicles	Drivers			
Noise barriers require protection	Drivers	TD 19/06		
Steep ditch side slopes a hazard	Drivers	TD 19/06		
Signing obscured by vegetation etc	Drivers			
Street lighting issues at major interchanges	Drivers			
Night time conspicuity of side road junctions	Drivers			
Signing of enforcement lay-bys	Drivers			
Pedestrians, equestrian and cycle route provisions (inconsistent or lack of)	Pedestrian / cyclist	TA 90/05		
Steep gradients on footways a hazard to users	Pedestrians/ cyclists/ mobility impaired	DFT - Inclusive Mobility		
Surface water ponding on mainline				
				OTHER OBSERVATIONS/REMARKS
				OTHER OBSERVATIONS/REMARKS
				DATE
				AUDITORS
				FILE REFERENCES

Tabella A.6 - RSA checklist stage 3b, [69].

A.1.2 - Australia

Il *Main Roads Western Australia* ha predisposto un'intera sezione del proprio spazio web, [70], dedicandola al *Design Review* e alle procedure di *Road Safety Audit*. Benché tali risorse non siano particolarmente aggiornate, in esse sono contenute le liste di controllo relative ai differenti contesti stradali. Di seguito si riportano alcune di queste in dettaglio, in particolar modo si nota che ciascun controllo impone un commento, affermativo o negativo. Ciò impone all'esaminatore la valutazione di ciascun aspetto, costringendolo ad esprimere il proprio giudizio anche in caso di esito positivo della verifica.

Questo approccio è finalizzato alla valutazione della totalità degli aspetti da indagare.

CHECKLIST – General items			
	Item	Issues to be considered	Comments
1	Horizontal And Vertical Alignment	Are the road works located safely with respect to horizontal and vertical alignment? If not, does works signing cater for this?	
2	Turning Radii and Tapers	Are turning radii and tapers constructed in accordance with guidelines? Are the tapers delineated by road works cones where necessary? Are the width of the lanes satisfactory for the traffic using the works area? Are the alignment of kerbs, traffic islands and medians satisfactory?	
3	Sight and Stopping Distances	Are sight and stopping distances in accordance with guidelines?	
4	Traffic Lane Safety and Visibility	Are bus stops appropriately located with adequate clearance from the traffic lane for safety and visibility? Can passengers safely walk to and from bus stops?	
5	Street Lighting and other Delineation	Is appropriate street lighting or other delineation provided at the road works to ensure that the site is safe at night? (Note: the site must be visited at night to ensure that the site is safe at night?) Is the work area safe for pedestrians and cyclists at night?	
6	Roadworks Signs	Have unnecessary signs been removed when works are not in progress (eg. at	
7	Access to Property	Do the roadworks adversely affect property access? Have the owners been consulted with, etc?	

Tabella A.7 - Australian RSA checklist a, [70].

CHECKLIST – Traffic Signs and Pavement Markings			
	Item	Issues to be considered	Comments
1	Signs	Are all necessary regulatory, warning and direction signs in place? Are they correctly placed clean, and conspicuous? Do they conform in general with AS 1724.3 – 1996 and Main Roads Department of WA Guidelines, or other recognised guidelines? If Chevron alignment markers are installed, have the correct types of markers been used?	
2	Location/Placement	Are traffic signs in their correct locations, and properly positioned with respect to lateral clearance and height? Are signs placed so as not to restrict sight distance, particularly for turning vehicles?	
3	Day/Night Signs Requirements	Are the correct signs used for each situation including at night where required, and is each sign necessary?	
4	Control	Are other traffic control devices according to standards and used correctly? Are flagmen or temporary traffic signals required – where, when and how?	
5	Delineation and Reflective Markers	[a] Are traffic lanes clearly delineated [b] Have temporary Reflective Markers been installed? [c] Where coloured Reflective Markers are used, have they been installed correctly?	
6	Pavement Marking	Are all necessary pavement markings installed in accordance with guidelines? Are vehicle paths through the work area clear to motorists? Are work areas clearly defined and clear of through traffic when flagmen not used? Does the site present difficulties for motorcyclists day or night? Have these been addressed?	
7	Detours	Do temporary detours cater for heavy vehicles and buses to safely manoeuvre in their designated lane?	

Tabella A.8 - Australian RSA checklist b, [70].

CHECKLIST – Traffic Signals			
	Item	Issues to be considered	Comments
1	Temporary Traffic Signals	Are the temporary traffic signals clearly visible to approaching motorists? Are additional warning signs required? Are signs warning of temporary traffic signals adequate? Are the ends of likely vehicle queues visible to motorists so that they may stop safely?	
2	Location	Are traffic signals operating correctly? Is the number and location of signal displays adequate?	
3	Visibility	Have any visibility problems caused by the rising or setting sun been addressed? Do any site works or any construction equipment create visibility problems for traffic signals?	
4	Signal Display	Are signal displays shielded so that they can be seen only by the motorist for whom they are intended?	
5	Traffic Movements	Are all movements including pedestrians catered for by the temporary traffic	

Tabella A.9 - Australian RSA checklist c, [70].

CHECKLIST – Traffic Speed Management			
	Item	Issues to be considered	Comments
1	Speed Restriction Signs	Are speed restriction signs required for these works? If so are they correctly applied?	
2	Speed Management	Are motorists informed of need to slow down through Roadworks site? Are other devices required for speed management?	
3	Signs Requirements	Do speed restriction signs require to be maintained all day and at night?	

Tabella A.10 - Australian RSA checklist d, [70].

A.1.3 - Nuova Zelanda

Le liste di controllo neozelandesi sono molto dettagliate ed esaustive e come le precedenti sono disponibili on line, [71]. Di seguito se ne riportano alcuni esempi.

Checklist 3: Detailed Design Stage Audit	Yes	No	Comment	Checklist 3: Detailed Design Stage Audit	Yes	No	Comment
Issue				Issue			
3.1 General topics				Do rest areas and truck parking area have adequate sight distance at access points?			
1 Changes since previous audit				7 Emergencies, breakdowns, emergency and service vehicle access			
Do the conditions for which the scheme was originally designed still apply (i.e. no significant changes to the surrounding network or area to be served, or traffic composition)?				Has provision been made for safe access and movements by emergency vehicles?			
Has the design of the project remained unchanged since previous audit (if any)?				Does the design and positioning of medians and vehicle barriers allow emergency vehicles to stop and turn without unnecessarily disrupting traffic?			
2 Drainage				Have broken-down vehicles or stopped emergency vehicles been adequately considered?			
Will the new road drain adequately?				Is provision for emergency telephones satisfactory?			
Are the road grades and crossfalls adequate for satisfactory drainage?				Are median breaks on divided carriageways safely located (i.e. frequency, visibility)?			
Are flat spots avoided or adequately dealt with at start/ end of superelevation?				8 Future widening and/or realignments			
Has the possibility of surface flooding been adequately addressed, including overflow from surrounding or intersecting drains and water courses?				If the scheme is only a stage towards a wider or dual carriageway is the design adequate to impart this message to drivers? (Is the reliance on signs minimal/ appropriate, rather than excessive?)			
Is sump spacing adequate to limit flooding?				Is the transition between single and dual carriageway (either way) handled safely?			
Is sump design safe for pedal cycles (i.e. gaps not parallel with wheel tracks)?				9 Staging of the scheme			
Will footpaths drain adequately?				If the scheme is to be staged or constructed at different times:			
3 Climatic conditions				– are the construction plans and program arranged to ensure maximum safety?			
Has the design taken into account weather records or local experience which may indicate a particular problem (for example, snow, ice, wind, fog)?				– do the construction plans and program include specific safety measures, signing, adequate transitional geometry, etc. for any temporary arrangements?			
4 Landscaping				10 Staging of the work			
Will drivers be able to see pedestrians (and vice versa) past or over the landscaping?				If the construction is to be split into several subprojects, is the order safe (i.e. the stages are not constructed in an order that creates unsafe conditions)?			
Will intersection sight lines be maintained past or over the landscaping?				11 Adjacent developments			
Will safety be adequate with seasonal growth (for example, no obscuring of signs, shading or light effects, slippery surface, etc.)?				Does the design handle accesses to major adjacent generators of traffic and developments safely?			
Will roadside safety be adequate when trees or plantings mature (no roadside hazard)?				Is drivers' perception of the road ahead free of misleading effects of any lighting or traffic signals on an adjacent road?			
Has 'frangible' vegetation been used in possible run-off road areas?				Has the need for screening against glare from lighting of adjacent property been adequately considered?			
5 Services				12 Stability of cut and fill			
Does the design adequately deal with buried and overhead services (especially in regard to overhead clearances, etc.)?				Is the stability of batters satisfactory (for example, no potential for loose material to affect road users)?			
Has the location of fixed objects or furniture associated with services been checked (including any loss of visibility, position of poles, and clearance to overhead wires)?							
6 Access to property and developments							
Can all accesses be used safely?							
Is the design free of any downstream or upstream effects from accesses, particularly near intersections?							
Checklist 3: Detailed Design Stage Audit				Checklist 3: Detailed Design Stage Audit			
Issue	Yes	No	Comment	Issue	Yes	No	Comment
13 Skid resistance				Is the layout of road markings and reflective materials able to deal satisfactorily with changes in alignment (particularly where the alignment may be substandard)?			
Has the need for anti-skid surfacing been considered where braking or good road adhesion is most essential (for example, on gradients, curves, approaches to intersections and signals)?				Is there adequate provision for overtaking?			
3.2 Design issues (general)				Are overtaking lanes provided where required and safely commenced and ended?			
1 Geometry of horizontal and vertical alignment				Are overtaking requirements satisfactory?			
Does the horizontal and vertical design fit together correctly?				Is the design free of sunrise/sunset problems?			
Is the vertical alignment consistent and appropriate throughout?				Have public transport requirements been adequately catered for?			
Is the horizontal alignment consistent throughout?				5 Shoulders and edge treatment			
Is the alignment consistent with the function of the road?				Are the following safety aspects of shoulder provision satisfactory?			
Is the design free of misleading visual cues (for example, visual illusions, subliminal delineation like lines of poles)?				– provision of sealed or unsealed shoulders;			
2 Typical cross sections				– width and treatment on embankments;			
Are lane widths, shoulders, medians and other cross section features adequate for the function of the road?				– crossfall of shoulders.			
Is the width of traffic lanes and carriageways suitable in relation to:				Are the shoulders likely to be safe if used by slow moving vehicles or cyclists?			
– alignment?				6 Effect of departures from standards or guidelines			
– traffic volume?				Any approved departures from standards or guidelines: is safety maintained?			
– vehicle dimensions?				Any hitherto undetected departures from standards: is safety maintained?			
– the speed environment?				7 Visibility and sight distance			
– combinations of speed and traffic volume?				Are horizontal and vertical alignments consistent with visibility requirements?			
Are the shoulder widths adequate for stationary vehicles and errant vehicles?				Has an appropriate design speed been selected for visibility requirements?			
Are median widths adequate for road furniture?				8 Environmental treatments			
Is superelevation consistent with the road environment?				Has safety been considered in the location of environmental features (for example, noise fences)?			
Are the shoulder crossfalls safe for vehicles to traverse?				3.3 Alignment details			
Are batter slopes drivable for cars, trucks?				1 Visibility: sight distance			
Are side slopes under structures appropriate?				Are horizontal and vertical alignments consistent with the visibility requirements?			
Have adequate facilities been provided for pedestrians and cyclists?				Is the design free of sight line obstructions such as safety fences or barriers?			
3 Effect of cross sectional variation				– boundary fences?			
Is the design free of undesirable variations in cross section design?				– street furniture?			
Are crossfalls safe (particularly where sections of existing highway have been used, there have been compromises to accommodate accesses, at narrowings at bridges, etc.)?				– parking facilities?			
Are any curves with adverse crossfall within appropriate limits?				– signs?			
Is superelevation provided and sufficient at all locations where required?				– landscaping?			
4 Roadway layout				– bridge abutments?			
Are all traffic management features designed so as to avoid creating unsafe conditions?				– parked vehicles in laybys or at the kerb?			
				– queued traffic?			

Tabella A.11 - Estratto 1 Check list Neozelandese, [71].

Checklist 3: Detailed Design Stage Audit				Checklist 3: Detailed Design Stage Audit			
Issue	Yes	No	Comment	Issue	Yes	No	Comment
<p>Are all railway crossings, bridges and other hazards conspicuous?</p> <p>Is the design free of any other local features which may affect visibility?</p> <p>Is the design free of overhead obstructions (for example, road or rail overpasses, sign gantries, overhanging trees) which may limit sight distance at sag curves?</p> <p>Has a clear headroom or a high vehicle detour been provided where necessary?</p> <p>Is visibility adequate at:</p> <ul style="list-style-type: none"> – any pedestrian, bicycle or cattle crossings? – access roads, driveways, on and off ramps, etc.? <p>Has the minimum sight triangle been provided at:</p> <ul style="list-style-type: none"> – entry and exit ramps? – gore areas? – intersections? – roundabouts? – other conflict points? 				<p>5 Treatment at bridges and culverts</p> <p>Is the geometric transition from the standard cross section to that on the bridge handled safely?</p>			
				<p>3.4 Intersections</p> <p>1 Visibility to and visibility at intersections</p> <p>Are horizontal and vertical alignments at the intersection or on the approaches to the intersection consistent with the visibility requirements?</p> <p>Is the standard adopted for provision of visibility appropriate for the speed of traffic and for any unusual traffic composition?</p> <p>Will the design be free of sight line obstructions such as safety fences or barriers?</p> <ul style="list-style-type: none"> – boundary fences? – street furniture? – parking facilities? – signs? – landscaping? – bridge abutments? – parked vehicles in laybys and at the kerb? – queued traffic? <p>Are railway crossings, bridges and other hazards all conspicuous?</p> <p>Is the design free of any other local features which may affect visibility?</p>			
<p>2 New/existing road interface</p> <p>Have implications for safety at the interface been considered?</p> <p>Is the transition from old road to the new scheme satisfactory?</p> <p>If the existing road is of a lower standard than the new scheme, is there clear and unambiguous warning of the reduction in standard?</p> <p>Have the appropriate provisions for safety been made where sudden changes in speed are required?</p> <p>Is access or side friction handled safely?</p> <p>Does the interface occur well away from any hazard (for example, a crest, a curve, a roadside hazard or where poor visibility/distractions may occur)?</p> <p>If carriageway standards differ, is the change effected safely?</p> <p>Is the transition where the road environment changes (for example, urban to rural; restricted to unrestricted; lit to unlit) done safely?</p> <p>Has the need for advance warning been considered?</p>				<p>2 Layout</p> <p>Are intersections and accesses adequate for all vehicular movements?</p> <p>Have the appropriate design vehicle and check vehicle been used for turning dimensions?</p> <p>Are swept paths accommodated for all likely vehicle types? (Has the appropriate design vehicle been used?)</p> <p>Are intersections free of any unusual features which could affect road safety?</p> <p>Are pedestrian fences provided where needed (for example, to guide pedestrians or discourage parking)?</p> <p>Has pavement anti-skid treatment been provided where needed?</p> <p>Have islands and signs been provided where required?</p> <p>Vehicles which may park at or close to the intersection: can they do this safely or does this activity need to be re-located?</p> <p>Are safety hazards due to parked vehicles avoided?</p>			
<p>3 'Readability' of the alignment by drivers</p> <p>Will the general layout, function and broad features be recognised by drivers in sufficient time?</p> <p>Will approach speeds be suitable and will drivers correctly track through the scheme?</p>				<p>3 Readability by drivers</p> <p>Will the existence of the intersection and its general layout, function and broad features be perceived correctly and in adequate time?</p> <p>Are the approach speeds and likely positions of vehicles tracking through the intersection safe?</p>			
<p>4 Detail of geometric design</p> <p>Are the design standards appropriate for all the requirements of the scheme?</p> <p>Is consistency of general standards and guidelines, such as lane widths and crossfalls, maintained?</p>							
Checklist 3: Detailed Design Stage Audit				Checklist 3: Detailed Design Stage Audit			
Issue	Yes	No	Comment	Issue	Yes	No	Comment
<p>Is the design free of misleading elements?</p> <p>Is the design free of sunrise or sunset problems which may create a hazard for motorists?</p>				<p>Is the lighting adequate?</p>			
<p>4 Detailed geometric design</p> <p>Can the layout safely handle unusual traffic compositions or circumstances?</p> <p>Does any median or any island safely account for:</p> <ul style="list-style-type: none"> – vehicle alignments and paths? – future traffic signals? – pedestrian storage space and surface? – turning path clearance? – stopping sight distance to the nose? – mountability by errant vehicles? <p>Is adequate vertical clearance to structures provided (for example, powerlines, shop awnings)?</p>				<p>7 Other intersections</p> <p>Has the need for kerbed or painted islands and refuges been considered?</p> <p>Do intersections have adequate queue length/storage for turning movements (including in the centre of a staggered intersection)?</p>			
				<p>3.5 Special road users</p> <p>1 Adjacent land equipment (e.g. tractors)</p> <p>Are all accesses to and from adjacent land/properties safe?</p> <p>Have the special needs of agriculture and stock movements been considered?</p>			
<p>5 Traffic signals</p> <p>Is the signal phasing/sequence safe?</p> <p>Is adequate time provided for traffic movements and pedestrian movements?</p> <p>Will the signal lanterns be visible (for example, not obstructed by trees, poles, signs or large vehicles)?</p> <p>Are lanterns for other approach directions adequately shielded from view?</p> <p>Are high-intensity signals and/or target boards provided if likely to be affected by sunrise/sunset?</p> <p>Does the vertical alignment provide satisfactory stopping sight distance to the intersection or back of queue?</p> <p>Are pedestrian facilities provided where they are required?</p> <p>Will approaching drivers be able to see pedestrians?</p> <p>Are partially or fully controlled turning phases required and provided?</p> <p>Are signal posts located where they are not an undue hazard?</p> <p>Are road markings for turning traffic satisfactory?</p> <p>Have adequate pedestrian phases been provided?</p>				<p>2 Pedestrians</p> <p>Can pedestrians cross safely at:</p> <ul style="list-style-type: none"> – intersections? – signalised and pedestrian crossings? – refuges? – kerb extensions? – bridges and culverts? – other locations? <p>Is each crossing point satisfactory for:</p> <ul style="list-style-type: none"> – visibility, for each direction? – use by the disabled? – use by the elderly? – use by children/schools? <p>Is pedestrian fencing on reservations and medians required and provided for each crossing?</p> <p>Is fencing adequate on freeways?</p> <p>Are pedestrians deterred from crossing roads at unsafe locations?</p> <p>Are pedestrian-related signs appropriate and adequate?</p> <p>Are width and gradient of pedestrian paths, crossings, etc. satisfactory?</p> <p>Is surfacing of pedestrian paths, crossings, etc. satisfactory?</p> <p>Have dropped kerbs been provided for each crossing?</p> <p>Have channels and gullies been avoided at each crossing?</p> <p>Is lighting satisfactory for each crossing?</p> <p>Are crossings sited to provide maximum use?</p> <p>Is avoidance of a crossing unlikely (for example, by more direct but less safe alternative)?</p>			
<p>6 Roundabouts</p> <p>Is adequate deflection provided to reduce approach speeds?</p> <p>If splitter islands are needed, are they adequate for sight distance, length, pedestrian storage, etc.?</p> <p>Is the central island prominent?</p> <p>Can the appropriate design vehicle and check vehicle be accommodated?</p> <p>Are the central island details satisfactory (delineation, mountability, conspicuity)?</p> <p>Can pedestrians be seen by drivers in sufficient time?</p> <p>Can pedestrians determine whether vehicles are turning (no obstructions to sight lines)?</p> <p>Are direction markings required in approach lanes?</p>				<p>3 Cyclists</p> <p>Have the needs of cyclists been considered:</p> <ul style="list-style-type: none"> – at intersections (particularly roundabouts)? – especially on higher speed roads? – on cycle routes and crossings? – at freeway entry and exit ramps? <p>Are shared cycleway/footway facilities (including subways and bridges) safe and adequately signed?</p>			

Tabella A.12 - Estratto 2 Check list Neozelandese, [71].

Checklist 3: Detailed Design Stage Audit				Checklist 3: Detailed Design Stage Audit			
Issue	Yes	No	Comment	Issue	Yes	No	Comment
4 Motorcyclists Has the location of devices or objects that might destabilise a motorcycle been avoided on the road surface? Is the roadside clear of obstructions where motorcyclists may lean into curves? Will warning or delineation be adequate for motorcyclists? Has barrier kerb been avoided in high-speed areas? In areas more likely to have motorcycles run off the road is the roadside forgiving or safely yielded? Are all poles, posts and devices necessary? (If so, is shielding an option?) Are drainage pits and culverts traversable by motorcycle?				Does the lighting adequately illuminate crossings, nearby paths, refuges, etc.? Are all gore areas adequately illuminated? Are all merge areas adequately illuminated? Is the scheme free of any lighting black patches? If there are locations with accident problems that are known to be amenable to treatment with improved lighting, has this lighting been provided?			
5 Equestrians and stock Have the needs of equestrians been considered, including the use of verges or shoulders and rules regarding the use of the carriageway? Can underpass facilities be used by equestrians/stock?				2 Signs Are signs appropriate for their location? Are signs located where they can be seen and read in adequate time? Will signs be readily understood? Are signs appropriate to the driver's needs (for example, direction signs, advisory speed signs, etc.)? Are signs located so that drivers' sight distance is maintained? Are signs located so that visibility is maintained: – to/from accesses and intersecting roads? – to/from pedestrians and important features on the road? Have the consequences of vehicles striking signposts been considered? Are sign supports out of the clear zone? If not, are they: – frangible? – shielded by barriers (for example, guard fence, crash cushions)? Has an over-reliance on signs (in lieu of adequate geometric design) been avoided? Are signs on the new scheme consistent with those on the adjoining section of road (or will the previous signs need to be upgraded)?			
6 Freight transport Have the needs of truck drivers been considered, including turning radii and lane widths? Have the needs of freight transport been considered, adequately signed and catered for?				3 Pavement marking and delineation Are markings (lines, arrows, etc.) consistent with standard markings? Have any locations where standard markings might be confusing or misread been identified and treated in a way which considers users' likely responses? Are barrier lines (no overtaking) provided where required? Are Raised Retroreflective Pavement Markers (RRPMs) provided where necessary? Are curve warning signs, advisory speed plates or chevron alignment markers provided where required? Are markings on the new scheme consistent with those on the adjoining section of road (or will the previous markings need to be upgraded)? Are diagonal markings or chevrons painted where required? Will markings and delineation be visible at night time? Will markings and delineation be visible in wet weather? Has the need for profiled (audible) line marking been considered?			
7 Public transport Have the needs for public transport been considered, adequately signed and catered for? Have the needs of public transport users been considered? Have the manoeuvring needs of public transport vehicles been considered? Are bus stops well positioned for safety?							
8 Road maintenance vehicles Have the needs of road maintenance vehicles been considered, adequately signed and catered for? Can maintenance vehicles be safely located?							
3.6 Lighting, Signs, Pavement Marking and Delineation 1 Lighting Is lighting required and, if so, has it been adequately provided? Is the design free of features which interrupt illumination (for example, trees or overbridges)? Do any lighting poles present a fixed roadside hazard? Are frangible or slip-base poles to be provided? Ambient lighting: if it creates special lighting needs, have these been satisfied? Is the lighting scheme free of confusing or misleading effects on signals or signs?							
Checklist 3: Detailed Design Stage Audit Issue Have both high and low-beam cases been considered? Are guide posts of the frangible type?				Checklist 3: Detailed Design Stage Audit Issue – proximity to moving traffic? – the possibility of causing injury or damage? – collapsible or frangible ends? – signs and markings? – connection of crash barriers? – roadside hazard protection? Is the bridge railing at the correct level and strong enough? Is the shoulder width on the bridge the same as on the adjacent road lengths? Is safe provision made for non-vehicular traffic over Structures (for example, pedestrians, pedal cycles, horses/stock, etc.)? Are all culvert end walls (including driveway culverts) drivable or outside the clear zone? Have causeways/floodways etc. been given correct signing and adequate sight distance?			
3.7 Physical objects 1 Median barriers Have median barriers been considered and properly detailed? Have all design features that require special attention (for example, end treatments) been considered?				3.8 Additional questions to be considered for development proposals 1 Horizontal alignment Is visibility adequate for drivers and pedestrians at proposed accesses? Is adequate turning space provided for the volume and speed of traffic? Are curve radii and forward visibility satisfactory? Are sight and stopping distances adequate?			
2 Poles and other obstructions Are all poles located well away from moving traffic? Have frangible or breakaway poles been included where required? Are median widths adequate to accommodate lighting poles or trees? Is the position of traffic signal controllers and other service apparatus satisfactory? Is the roadside clear of any other obstructions that may create a safety hazard? Have all necessary measures been taken to remove, re-locate or shield all hazards? Can roadside drains and channels be safely traversed by any vehicle that runs off the road?				2 Vertical alignment Are gradients satisfactory? Are sight and stopping distances adequate?			
3 Road Safety barriers Are road safety barriers provided where necessary and properly detailed (for example, at embankments, structures, trees, poles, drainage channels, bridge piers, gore areas)? Is the road safety barrier safe (i.e. unlikely to create a danger for road users including pedestrians, cyclists, motorcyclists, etc.)? Are the end conditions of the road safety barrier safe and satisfactory? Is the guardrail designed according to standards for: – end treatments? – anchorages? – post spacing? – block outs? – post depth? – rail overlap? – stiffening at rigid obstacles? Is all guardrail necessary (i.e. what it shields is a greater hazard than the fence)? Where pedestrians and cyclists travel behind guardrail, is the rear of the fence safe for them?				3 Parking provision Is on-site parking adequate to avoid on-street parking and associated risks? Are parking areas conveniently located? Is adequate space provided in parking areas for circulation and intersection sight distance?			
4 Bridges, culverts and causeways/floodways Are bridge barriers and culvert end walls safe regarding: – visibility? – ease of recognition?				4 Servicing facilities Are off street loading/unloading areas adequate? Are turning facilities for large vehicles provided in safe locations? Is emergency vehicle access adequate?			
				5 Signs and markings Have necessary traffic signs and road markings been provided as part of a development? Is priority clearly defined at all the intersection points within the car park and access routes? Will the signs and markings be clear in all conditions, including day/night, rain, fog, etc.?			

Tabella A.13 - Estratto 3 Check list Neozelandese, [71].

A.1.4 - Usa

Alcune delle liste di controllo statunitensi sono contenute nelle sintesi dell'NCHRP (*National Cooperative Highway Research Program*) del TRB (*Transportation Research Board*). Di seguito si riportano alcuni estratti, tra cui il quadro generale, *Tabella A.14*, di queste in cui sono elencati i punti chiave per il controllo dell'infrastruttura nelle differenti fasi progettuali.

STAGE 1-FEASIBILITY (AF@)	STATE 2-PROJECT ASSESSMENT (AP@)	STAGE 3-FINAL DEIGN (AD@)	STAGE 4-PREOPENING (AO@)
<p>F1a General Topics:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Scope of Project, function, traffic mix 2. Type and degree of Access to Property and Developments 3. Significant adjacent Developments 4. Influence of staging 5. Future widening &/or Realignment 6. Wider network effects 	<p>P1a. General Topics:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Changes since Stage 1 2. Drainage 3. Climatic Conditions 4. Landscaping 5. Services 5. Access to Property and Development 7. Emergency vehicles and Access 8. Future widening &/or Realignment 9. Staging of scheme 10. Staging of works 11 Significant adjacent Developments 12. Stability of cut & fill—surface effects 	<p>D1a General Topics:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Changes since Stage 2 2. Drainage 3. Climatic Conditions 4. Landscaping 5. Services. 6. Access to Property and Development 7. Emergency vehicles and Access 8. Future widening &/or Realignment 9. Staging of scheme 10. Staging of works 11. Significant adjacent Developments 12. Batter stability—surface effects 	<p>O1a. General Topics:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Changes since Stage 3 & Transition of Design 2. Drainage 3. Climatic Conditions 4. Landscaping 5. Services 6. Access to Property 7. Emergency vehicles & Access 11. Significant adjacent Developments 12. Batter Treatment 17. Shoulders & edge delin. 20. Signs and markings 21. Surface, skid resistance 22. Contrast with markings 23. Installed hazards 24. Natural features
<p>F1b Design Approach</p> <ol style="list-style-type: none"> 7. Route Choice 8. Impact of continuity with existing network 9. Broad design standard 10. Design speed 11. Design Volume, traffic characteristic 	<p>P1b Design Approach</p> <ol style="list-style-type: none"> 13. Geometry of horizontal and Vertical Alignment 14. Typical Cross Sections 15. Effect of Cross Sectional Variation 16. Roadway Layout 17. Shoulders and edge treatment 18. Effect of Departure from Standards & guidelines 	<p>D1b Design Approach</p> <ol style="list-style-type: none"> 13 Geometry of horizontal and Vertical Alignment 14. Typical Cross Sections 15. Effect of Cross Sectional Variation 16. Roadway Layout 17. Shoulders, edge treatment 18. Effect of Departure from Standards & guidelines 19. Visibility, sight distances 20. Signs and markings 	
<p>F2 Intersections</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Number and Type of Intersections 	<p>P2 Local Alignment</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Visibility 2. Layout, including appropriateness of type 3. Readability by drivers 	<p>D2 Local Alignment</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Visibility 2. New/Existing Road Interface 3. Readability by drivers 4. Detailed Geometric Design 5. Treatment—bridges & culverts 	<p>O2. Local Alignment</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Visibility, sight distances 2. New/Existing Road Interface 3. Readability by drivers 5. Treatment at Bridges and Culverts

Tabella A.14 - Master check list - all stages 1/2, [72].

F3. Environmental Constraints 1. Safety Aspects, including weather, natural features	P3. Intersections 1. Visibility 2. Layout, including appropriateness of type 3. Readability by drivers	D3. Intersections 1. Visibility 2. New/Existing Road Interface 3. Readability by drivers 4. Detailed Geometric Design 5. Traffic signals 6. Roundabouts, islands 7. Other intersections	O3. Intersections 1. Visibility 3. Readability by drivers 5. Traffic Signals 6. Roundabouts, islands
F4. Any Matter not covered above 1. Safety aspects not already dealt with	P4. Non-Vehicular provision 1. Adjacent Land 2. Pedestrians 3. Cyclists 4. Equestrians/stock	P4. Non-Vehicular provision 1. Adjacent Land 2. Pedestrians 3. Cyclists 4. Equestrians/stock	O4. Non-vehicular provision 1. Adjacent Land 2. Pedestrians, incl. refuges 3. Cyclists 4. Equestrians/stock
	P5 (6). Signs and Lighting 1. Lighting 2. Signs 3. Markers, edge delineation	D5. Signs and Lighting 1. Lighting 2. Signs 3. Markers, edge delineation	O5. Signs and Lighting 1. Lighting 2. Signs, visibility & position 3. Markers, edge delineation
		D6. Physical Objects (poles, barriers, etc.) 1. Median barriers 2. Poles & other obstructions 3. Guardrailing 4. Bridge & culvert parapets	O6. Physical Objects (poles, barriers, etc.) 1. Median Barriers 2. Poles & other obstructions 3. Guardrailing
Note: This stage is the only checklist not to conform with the standard sequential numbering and topic descriptions. All subsequent safety audit checklists have a standard format and text	P7. Construction and Operation 1. Buildability 2. Operation 3. Traffic Management 4. Network Management 5. By-law requirements	D7. Construction and Operation 1. Buildability 2. Operation 3. Traffic Management 4. Network Management 5. Temporary traffic control/management	O7. Construction and Operation 2. Operation 3. Traffic Management in pract 6. Temporary Traffic Control/Management, change to permanent
The narrow columns are for the use of Safety Auditors in any way they see fit.	P8. Any other matter 1. Safety aspects not already covered	D8. Any other matter 1. Safety aspects not already covered	O8. Any other matter 1. Safety aspects not already covered

Tabella A.15 - Master check list - all stages 2/2, [72].

Di seguito si riportano alcuni dei punti elencati nel *Master check list*, in particolare si riportano le liste di controllo relative alle fasi progettuali corrispondenti al progetto definitivo. Per ciascun *Item* è necessario fornire una valutazione in riferimento alle specifiche caratteristiche elencate nella cella di controllo.

Item	Issues to be Considered	Check	Comments
1 Changes since Stage 2	Check for any major changes in principle since the Stage 2 Audit was carried out. Check that the conditions for which the project was originally designed still apply, i.e., there have not been significant changes to the surrounding network or area to be served, or traffic mix.		
2 Drainage	Will the new road drain adequately? Is there a possibility of surface flooding or overflowing from surrounding or intersected drains and water courses? Is pit spacing adequate to limit flooding?		
3 Climatic conditions	Do weather records or local experience indicate a problem (e.g., snow, ice, wind, fog)?		
4 Landscaping	Check the landscape design or planting species for a lowering of safety. Is it likely to lead to a lower safety with mature or seasonal growth (e.g. through loss of visibility, obscuring signs, shading or light effects, leaves, flowers or seeds dropping on to the highway)? Is frangible vegetation appropriate? Consider pedestrian visibility in particular.		
5 Services	Does the design adequately deal with buried and overhead services? Check the location of fixed objects or furniture associated with services, including for loss of visibility and check the position of lighting and other poles for accuracy. Check the clearance to overhead wires.		
6 Access to property and developments	Can all accesses be used safely? Are there any downstream or upstream effects from accesses, particularly near intersections?		
7 Emergency vehicles and access	Has provision been made for safe access by emergency vehicles? Check the design of medians and vehicle barriers, and the ability of emergency vehicles to stop without necessarily disrupting traffic.		
8 Future widening and/or realignments	If the project is only a stage towards a wider or divided roadway, is the signing and design adequate to impart this message to drivers? Is the transition from two way to divided roadway handled safely?		
9 Staging of the project	If the project is to be staged or constructed at different times, are the construction plans and program arranged to ensure maximum safety and do they include specific safety measures, signing, also adequate transitional geometry for any temporary arrangements?		
10 Staging of the works	If the construction of this project is to be staged or split into several contracts check that these are arranged for maximum safety.		
11 Significant adjacent developments	Check that the design handles accesses to major adjacent generators of traffic and developments safely. Check the need for screening against glare from lighting of adjacent developments. Check that lighting or traffic signals on an adjacent road do not affect the drivers' perception of the road ahead.		
12 Stability of cut and fill	Do the geological conditions in the country through which the road is to be built pose significant threats to the safety of vehicle occupants? Check batters for stability, potential for loose material.		
13 Skid resistance	Check the need for high level skid surface on grades or where braking or good road adhesion is essential.		
14 Maintenance	Check that maintenance vehicles can be safely located.		

Tabella A.16 - Detailed Design, General Topics, [72].

Item	Issues to be Considered	Check	Comments
1 Geometry of horizontal and vertical alignment	Check that the horizontal and vertical design of the project fit together comfortably. Check the design for adequacy having regard to the function of the road. Check the possibility of drivers not being able to read the road characteristics, i.e., visual illusions, subliminal delineation, etc.		
2 Typical cross sections	Are the lane widths, shoulders, medians and other cross section features in accordance with standard design or adequate for the function of the road?		
3 Effect of cross-sectional variation	Check that there are no variations in cross section design which could affect safety, particularly where sections of existing highway have been utilized, or there have been compromises to accommodate accesses, etc. Check where compromises have been made, e.g., at bridges or to avoid physical features.		
4 Roadway layout	Check that total traffic management features (i.e., in addition to questions of horizontal and vertical alignment and cross section) are not likely to create unsafe conditions. This includes the installation of signs and markings both on the road and nearby to deal with changes in alignment, particularly where these are substandard.		
5 Shoulders and edge treatment	Check the safety aspects of shoulder provision, if any, including seal shoulders, the width and treatment on embankments and cross slopes of shoulders. Are the shoulders likely to be used by slow moving vehicles or cyclists?		
6 The effect of departures from standards or guidelines	Are there any approved departures from standards or guidelines which affect safety? Are there any hitherto undetected departures from standards which should be brought to the attention of the designer?		
7 Visibility, sight distance	Are horizontal and vertical alignments consistent with the required visibility requirements? Confirm that the standard adopted for provision of visibility in the design is appropriate for the ruling or 85th percentile speed and for any unusual traffic mix. Check that sight lines are not obstructed by: (a) Safety fences and barriers (b) Boundary fences (c) Street furniture (d) Parking facilities (e) Signs (f) Landscaping (g) Bridge abutments. Check that railway crossings, bridges and other hazards are conspicuous. Will sight lines be obstructed by temporary features such as parked vehicles in turn outs, or by parked or queued traffic generally?		
8 Signs and markings	Has the design approach taken into account the provision of signs and road markings? Are they adequately detailed so as to promote good traffic management and safety?		

Tabella A.17 - Design Issues, [72].

Alignment Details

Item	Issues to be Considered	Check	Comments
1 Visibility, sight distance	<p>Are horizontal and vertical alignments consistent with the required visibility requirements?</p> <p>Confirm that the standard adopted for provision of visibility in the design is appropriate for the ruling or 85th percentile speed and for any unusual traffic mix.</p> <p>Check sight lines are not obstructed by:</p> <ul style="list-style-type: none"> (a) Safety fences and barriers (b) Boundary fences (c) Street furniture (d) Parking facilities (e) Signs (f) Landscaping (g) Bridge abutments. <p>Check that railway crossings, bridges and other hazards are conspicuous.</p> <p>Will sight lines be obstructed by temporary features such as parked vehicles in turn outs, or by parked or queued traffic generally?</p>		
2 New/existing road interface	<p>Have implications for safety at the interface been considered?</p> <p>Include the accident rate and severity on the adjacent network, and the effect of sudden changes in the speed profile or access and side friction characteristics.</p> <p>Does the interface occur near any hazard, i.e., at a crest or bend or where poor visibility or distractions occur?</p> <p>Check that the change is affected safely where roadway standards differ.</p> <p>Check transition is safe where road environment changes, for example, urban to rural, fast to slow, lit to unlit.</p> <p>Check the need for advance warning.</p>		
3 Readability by drivers	<p>Will the general layout, function and broad features be recognized by drivers in adequate time for safety not to be impaired?</p> <p>If new work is of higher geometric standard —is there clear and unambiguous advance warning or reduction in standard?</p> <p>Is there need for a transition zone between higher standard of new road and lower standard of old road (especially perception of horizontal curvature, which is the primary determinant out of desired speed).</p> <p>Check the approach speed and general likely position of vehicles as they track through the project.</p>		
4 Detail of geometric design	<p>Check that the design standards are appropriate for all the new requirements of the proposed project.</p> <p>Check for consistency of general standards and guidelines such as lane widths and cross slopes.</p>		
5 Treatment of bridges and culverts	<p>Check that the geometric transition from the standard cross section to that on the bridge is handled so as to promote safety.</p>		

Tabella A.18 - Alignment Details, [72].

Item	Issues to be Considered	Check	Comments
1 Median barriers	Are median barriers necessary and have they been properly detailed? Are there any design features such as end conditions which require special attention?		
2 Poles and other obstructions	Are there any poles located adjacent to moving traffic which could be sited elsewhere, (i.e., at the property boundary)? Have frangible or breakaway poles been detailed? Is the unprotected median width adequate to accommodate lighting poles? Check the position of traffic signal controllers and other service apparatus. Are there any other obstructions which are likely to create a safety hazard and can they be mitigated or relocated?		
3 Crash attenuators and guide rail	Is a crash attenuator provided where necessary and is it properly detailed? Are there any features about the design or presence of the crash attenuator which could create danger to any road user, including pedestrians? Are the end conditions of the crash attenuator likely to create a safety problem? Do any guide rail installations restrict sight distance? Is the guide rail designed according to standards: - end treatments - NCHRP 350 requirements - driveway treatments - intersecting road treatments - anchorages - post spacings - block outs - post depths - rail overlaps - minimum unobstructive distances		
4 Bridges and culverts	Check bridge barrier and culvert end walls for: (a) Visibility (b) Ease of recognition (c) Proximity to moving traffic (d) Possibility of causing injury or damage (e) Collapsible or frangible ends		
	(f) The need to be able to see through bridge guard railing for safety purposes (g) Signs and markings (h) Connection of bridge railing to bridge posts (i) Connection of approach barriers to bridge (j) End post transition of stiffness between approach barrier and bridge end post.		

Tabella A.19 - Physical Objects, [72].

A.1.5 - Italia

In Italia nel 2001 l'Ispettorato generale per la circolazione e la sicurezza stradale ha stilato delle *linee guida per l'analisi di sicurezza delle strade*, [59]. Una commissione di esperti del settore, ha quindi espresso una serie di indicazioni relative alla sicurezza stradale nel suo complesso. Il *Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti* tramite queste indicazioni ha voluto indirizzare gli sforzi della comunità tecnica (e scientifica) individuando e definendo i caratteri generali delle analisi di sicurezza. Di seguito si riportano alcuni esempi di liste di controllo estratti da tale documento, relative alla situazione di strada esistente e di strada in fase di progetto, in tutte le sue fasi progettuali. In particolare si sono riportate le specifiche liste relative alla sola geometria stradale. Si riporta inoltre uno dei moduli di ispezione, Tabella A.25 e Tabella A.26, relativi ad un più recente approccio operativo, [53].

PRE-APERTURA - Struttura delle liste di controllo

PRE-APERTURA - Lista di controllo 2 - Geometria	
PA1 Aspetti generali	Velocità di progetto
1.1 Inserimento della nuova infrastruttura nella rete es	1 I limiti di velocità imposti sono adeguati alle diverse situazioni e sono coerenti con le velocità di progetto?
1.2 Condizioni ambientali	2 Le velocità di progetto per le zone di intersezione/svincolo sono appropriate?
1.3 Paesaggio circostante	3 Le velocità di progetto per le zone di raccordo alla rete adiacente sono appropriate?
1.4 Servizi	4 Vi sono particolari situazioni che possono far ritenere che le velocità operative saranno molto più elevate delle velocità di progetto?
1.5 Dispositivi di sicurezza (SOS, antincendio, etc.)	Tracciato planimetrico
1.6 Veicoli di manutenzione e di emergenza	5 Presenta l'allineamento orizzontale qualche problema di sicurezza inerente a: - rettili? - curve circolari? - curve di transizione?
1.7 Abbagliamento notturno	6 Il tracciato presenta punti in cui si possono avere illusioni ottiche o dubbi sull'andamento della strada (allineamento della vegetazione, allineamento di pali, etc.)?
1.8 Accessi	Tracciato altimetrico
1.9 Sviluppi adiacenti	7 Presenta l'allineamento verticale qualche problema di sicurezza inerente a: - livellette? - raccordi convessi (dossi)? - raccordi concavi (sacche)?
PA2 Geometria	Coordinamento piano-altimetrico
2.1 Velocità di progetto	8 Vi possono essere problemi di visibilità indotti dalla contemporanea presenza di curvature planimetriche e altimetriche?
2.2 Tracciato planimetrico	Visibilità
2.3 Tracciato altimetrico	9 Nelle strade a singola carreggiata è garantita la visibilità per il sorpasso per una lunghezza sufficiente del tracciato?
2.4 Coordinamento piano-altimetrico	10 E' garantita la distanza di visibilità di sicurezza in relazione alle velocità operative?
2.5 Visibilità	11 La presenza delle opere d'arte, delle intersezioni/svincoli, delle variazioni di sezione trasversale e delle singolarità viene percepita da una distanza adeguata alla velocità operativa?
2.6 Sezione trasversale	12 La visibilità è ostacolata da elementi posti a margine della carreggiata quali: - vegetazione? - edifici? - cartelli stradali? - barriere di sicurezza? - parapetti, staccionate? - insegne pubblicitarie? - cassonetti di raccolta dei rifiuti? - veicoli in sosta? - altro?
2.7 Drenaggi	Sezione trasversale
2.8 Scarpe	13 Si sono dovuti prevedere dei restringimenti della sezione trasversale per situazioni particolari che possono comportare problemi di sicurezza?
PA3 Intersezioni a raso	14 Se presente, l'organizzazione degli spazi nello spartitraffico è appropriata per la classe di strada, il tipo di traffico e per il rispetto della distanza di visibilità per l'arresto?
3.1 Ubicazione/spaziatura	15 E' necessaria la presenza di un marciapiede?
3.2 Visibilità	16 E' sufficiente la sezione trasversale ad assicurare il regolare deflusso dei ciclisti?
3.3 Leggibilità/facilità di comprensione	17 La sezione trasversale si conserva costante anche in corrispondenza delle opere d'arte?
3.4 Corsie ausiliarie/canalizzazione/accelerazione e decelerazione	18 La sezione trasversale è idonea all'installazione di tutte le opere accessorie (barriere, cunette, parapetti, etc.)?
3.5 Manovre	Drenaggi
3.6 Intersezioni regolate da precedenza	17 Vi è la possibilità di allagamenti dovuti a canali di drenaggio di caratteristiche insufficienti presenti nelle vicinanze?
3.7 Intersezioni semaforizzate	18 Le dimensioni delle opere di regimazione idraulica sono adeguate?
3.8 Passaggi a livello	19 La spaziatura dei tombini è adeguata?
3.9 Rotatorie	Scarpe
PA4 Intersezioni a livelli sfalsati	20 Le scarpe presentano il pericolo di cadute di materiale?
4.1 Ubicazione/spaziatura	21 Vi sono pareti sporgenti in roccia da proteggere o da sagomare diversamente?
4.2 Visibilità	
4.3 Leggibilità/facilità di comprensione	
4.4 Corsie di accelerazione e decelerazione	
4.5 Rampe	
4.6 Opere sussidiarie	
PA5 Segnaletica e illuminazione	
5.1 Segnaletica orizzontale	
5.2 Segnaletica verticale	
5.3 Limiti di velocità	
5.4 Delineazione	
5.5 Semafori	
5.6 Illuminazione	
PA6 Margini	
6.1 Presenza di ostacoli non protetti	
6.2 Adeguatezza delle classi di barriera	
6.3 Transizioni tra i differenti tipi di barriera	
6.4 Terminali delle barriere	
6.5 Condizioni di installazione delle barriere	
6.6 Interazione tra barriere di sicurezza e altri oggetti	
PA7 Pavimentazione	
7.1 Tessitura	
7.2 Aderenza	
7.3 Velo idrico	
7.4 Stato della pavimentazione	
PA8 Utente deboli	
8.1 Attraversamenti pedonali	
8.2 Percorsi pedonali	
8.3 Ciclisti	
8.4 Motociclisti	
PA9 Parcheggi e sosta	
9.1 Parcheggi	
9.2 Aree di sosta	
PA10 Interventi di moderazione del traffico	
10.1 Dossi artificiali	
10.2 Mini-rotatorie	
10.3 Restringimenti di corsia e chicane	
10.4 Intersezioni rialzate	

Tabella A.20 - Check list pre apertura strada, [59].

PROGETTO PRELIMINARE - Struttura delle liste di controllo

PP1	Aspetti generali
	1.1 Funzione della nuova infrastruttura
	1.2 Inserimento della nuova infrastruttura nella rete esistente
	1.3 Traffico
	1.4 Numero e tipo di intersezioni/svincoli
	1.5 Aree di sosta e piazzole
	1.6 Abbagliamento notturno
	1.7 Accessi
	1.8 Sviluppi adiacenti

PP2	Geometria
	2.1 Scelta del tracciato della nuova infrastruttura
	2.2 Tracciato planimetrico
	2.3 Tracciato altimetrico
	2.4 Sezione trasversale

PROGETTO PRELIMINARE - Lista di controllo 2 - Geometria

PP3	Utenze deboli	Scelta del tracciato della nuova infrastruttura
	3.1 Attraversamenti pedonali	1 Se il progetto prevede un tracciato completamente nuovo, si sono tenuti in conto gli aspetti
	3.2 Percorsi pedonali	2 Se il progetto prevede il potenziamento di un tracciato esistente, si sono tenuti in conto gli aspetti riguardanti la sicurezza nella scelta fra le varie alternative:
	3.3 Ciclisti	- modifica della rete esistente?
	3.4 Motociclisti	- vincoli sulla geometria?
PP4	Parcheggi e sosta	3 Le caratteristiche geometriche del tracciato previsto sono idonee alla topografia del territorio e al tipo di ambiente attraversato?
	4.1 Parcheggi	4 Le caratteristiche geometriche del tracciato previsto sono conformi alle aspettative degli utenti?
	4.2 Sosta	5 Se sono presenti tratti (lunghe gallerie o lunghi viadotti) in cui si sono dovute prevedere delle caratteristiche geometriche inferiori rispetto alla media del tracciato, si hanno problemi di sicurezza?
		Tracciato planimetrico
		6 I seguenti elementi possono costituire un fattore di pericolo:
		- curve circolari?
		- rettifili?
		- successione degli elementi del tracciato?
		7 Sono previsti accorgimenti a distanze regolari per permettere l'inversione di marcia?
		Tracciato altimetrico
		8 I seguenti elementi possono costituire un fattore di pericolo:
		- livellette?
		- raccordi concavi?
		- raccordi convessi?
		- successione degli elementi del tracciato?
		9 Il valore e la lunghezza delle livellette è compatibile con un regolare deflusso del traffico (in particolare veicoli pesanti, camper, etc.)?
		10 Sono necessarie corsie di arrampicamento?
		11 I valori dei raggi verticali per i raccordi concavi e per i raccordi convessi sono dello stesso ordine di grandezza?
		Sezione trasversale
		12 I seguenti elementi possono costituire un fattore di pericolo:
		- numero e larghezza delle corsie?
		- banchine?
		- spartitraffico?
		13 Si possono avere problemi di sicurezza in punti in cui si sono dovuti prevedere dei restringimenti della sezione trasversale per situazioni particolari? ?

Tabella A.21 - Check list progetto preliminare, [59].

PROGETTO DEFINITIVO - Struttura delle liste di controllo

PROGETTO DEFINITIVO - Lista di controllo 2 - Geometria	
PD1 Aspetti generali	
1.1 Funzione della nuova infrastruttura	
1.2 Inserimento della nuova infrastruttura	
1.3 Traffico	
1.4 Aree di sosta e piazzole	
1.5 Condizioni ambientali	
1.6 Abbagliamento notturno	
1.7 Accessi	
1.8 Sviluppi adiacenti	
PD2 Geometria	
2.1 Velocità di progetto	
2.2 Tracciato planimetrico	
2.3 Tracciato altimetrico	
2.4 Coordinamento piano-altimetrico	
2.5 Visibilità	
2.6 Sezione trasversale	
PD3 Intersezioni a raso	
3.1 Ubicazione/spaziatura	
3.2 Visibilità	
3.3 Leggibilità/facilità di corsa	
3.4 Corsie ausiliarie/canalizzazioni	
3.5 Manovre	
PD4 Intersezioni a livelli sfalsati	
4.1 Ubicazione/spaziatura	
4.2 Visibilità	
4.3 Leggibilità/facilità di corsa	
4.4 Corsie di accelerazione	
4.5 Rampe	
PD5 Utenze deboli	
5.1 Attraversamenti pedonali	
5.2 Percorsi pedonali	
5.3 Ciclisti	
5.4 Motociclisti	
PD6 Parcheggi e sosta	
6.1 Parcheggi	
6.2 Sosta	
Velocità di progetto	
1	I limiti di velocità imposti sono adeguati alle diverse situazioni e sono coerenti con le velocità di progetto?
2	Le velocità di progetto per le zone di intersezione/svincolo sono appropriate?
3	Le velocità di progetto per le zone di raccordo alla rete adiacente sono appropriate?
4	Vi sono particolari situazioni che possono far ritenere che le velocità operative saranno molto più elevate delle velocità di progetto?
Tracciato planimetrico	
5	I seguenti elementi possono costituire un fattore di pericolo: - curve circolari? - curve di transizione? - rettifili? - successione degli elementi del tracciato?
6	Il tracciato planimetrico presenta dei punti singolari che possono indurre errori di valutazione da parte dell'utente?
7	Il tracciato presenta punti in cui si possono avere illusioni ottiche o dubbi sull'andamento della strada (allineamento della vegetazione, allineamento di pali, etc.)?
8	Sono previsti accorgimenti a distanze regolari per permettere l'inversione di marcia?
Tracciato altimetrico	
9	I seguenti elementi possono costituire un fattore di pericolo: - livellette? - raccordi concavi? - raccordi convessi?
10	Il valore e la lunghezza delle livellette è compatibile con un regolare deflusso del traffico (in particolare veicoli pesanti, camper, etc.)?
11	Sono necessarie corsie di arrampicamento?
12	Vi sono discese lunghe e ripide che comportano problemi di sicurezza?
13	I valori dei raggi verticali per i raccordi concavi e per i raccordi convessi sono dello stesso ordine di grandezza?
14	Il succedersi dei raccordi del tracciato altimetrico induce fenomeni dinamici fastidiosi per l'utente?
Coordinamento piano-altimetrico	
15	Vi possono essere difetti di leggibilità del tracciato indotti dalla contemporanea presenza di curvature planimetriche e altimetriche?
16	Vi possono essere problemi dinamici indotti dalla contemporanea presenza di curvature planimetriche e altimetriche prossime ai valori minimi?
Visibilità	
17	La distanza di visibilità per l'arresto è sempre rispettata per le velocità di progetto?
18	Nelle strade a singola carreggiata è garantita la visibilità per il sorpasso per una lunghezza sufficiente del tracciato?
19	La distanza di visibilità per l'arresto è rispettata sulla maggior parte del tracciato anche per le velocità operative previste?
20	La presenza delle opere d'arte, delle intersezioni/svincoli, delle variazioni di sezione trasversale e delle singolarità viene percepita da una distanza adeguata alla velocità operativa prevista?
Sezione trasversale	
21	I seguenti elementi possono costituire un fattore di pericolo (data la classe di strada, il volume e il tipo di traffico): - numero e larghezza delle corsie? - banchine? - margini laterali? - spartitraffico?
22	Si sono dovuti prevedere dei restringimenti della sezione trasversale per situazioni particolari che possono comportare problemi di sicurezza?
23	Se presente, l'organizzazione degli spazi nello spartitraffico è appropriata per la classe di strada, il tipo di traffico e per il rispetto della distanza di visibilità per l'arresto?
24	E' necessaria la presenza di un marciapiede?
25	E' sufficiente la sezione trasversale ad assicurare il regolare deflusso dei ciclisti?
26	La sezione trasversale si conserva costante anche in corrispondenza delle opere d'arte?
27	La sezione trasversale è idonea all'installazione di tutte le opere accessorie previste (barriere, cunette, parapetti, etc.)?
28	Le pendenze trasversali delle corsie e delle banchine sono adeguate per il drenaggio dell'acqua piovana?

Tabella A.22 - Check list progetto definitivo, [59].

PROGETTO ESECUTIVO - Struttura delle liste di controllo		PROGETTO ESECUTIVO - Lista di controllo 2 - Geometria	
PE1	Aspetti generali	Velocità di progetto	1 I limiti di velocità imposti sono adeguati alle diverse situazioni e sono coerenti con le velocità di progetto?
	1.1 Inserimento della nuova infrastruttura nella rete	2 Le velocità di progetto per le zone di intersezione/svincolo sono appropriate?	
	1.2 Condizioni ambientali	3 Le velocità di progetto per le zone di raccordo alla rete adiacente sono appropriate?	
	1.3 Paesaggio circostante	4 Vi sono particolari situazioni che possono far ritenere che le velocità operative saranno molto più elevate delle velocità di progetto?	
	1.4 Servizi	Tracciato planimetrico	
	1.5 Dispositivi di sicurezza (SOS, antincendio, etc.)	5 I seguenti elementi possono costituire un fattore di pericolo:	
	1.6 Veicoli di manutenzione e di emergenza	- curve circolari?	
	1.7 Abbagliamento notturno	- curve di transizione?	
	1.8 Accessi	- rettili?	
	1.9 Sviluppi adiacenti	- successione degli elementi del tracciato?	
PE2	Geometria	6 Il tracciato planimetrico presenta dei punti singolari che possono indurre errori di valutazione da parte dell'utente?	
	2.1 Velocità di progetto	7 Il tracciato presenta punti in cui si possono avere illusioni ottiche o dubbi sull'andamento della strada (allineamento della vegetazione, allineamento di pali, etc.)?	
	2.2 Tracciato planimetrico	8 Sono previsti accorgimenti a distanze regolari per permettere l'inversione di marcia?	
	2.3 Tracciato altimetrico	Tracciato altimetrico	
	2.4 Coordinamento piano-altimetrico	9 I seguenti elementi possono costituire un fattore di pericolo:	
	2.5 Visibilità	- livellette?	
	2.6 Sezione trasversale	- raccordi concavi?	
	2.7 Drenaggi	- raccordi convessi?	
PE3	Intersezioni a raso	10 Il valore e la lunghezza delle livellette è compatibile con un regolare deflusso del traffico (in particolare veicoli pesanti, camper, etc.)?	
	3.1 Ubicazione/spaziatura	11 Sono necessarie corsie di arrampicamento?	
	3.2 Visibilità	12 Vi sono discese lunghe e ripide che comportano problemi di sicurezza?	
	3.3 Leggibilità/facilità di comprensione	13 I valori dei raggi verticali per i raccordi concavi e per i raccordi convessi sono dello stesso ordine di grandezza?	
	3.4 Corsie ausiliarie/canalizzazione/accelerazione e decelerazione	14 Il succedersi dei raccordi del tracciato altimetrico induce fenomeni dinamici fastidiosi per l'utente?	
	3.5 Manovre	Coordinamento piano-altimetrico	
	3.6 Intersezioni regolate da precedenza	15 Vi possono essere problemi di visibilità indotti dalla contemporanea presenza di curvature planimetriche e altimetriche?	
	3.7 Intersezioni semaforizzate	16 Vi possono essere problemi dinamici indotti dalla contemporanea presenza di curvature planimetriche e altimetriche prossime ai valori minimi?	
	3.8 Passaggi a livello	Visibilità	
	3.9 Rotatorie	17 La distanza di visibilità per l'arresto è sempre rispettata per le velocità di progetto?	
PE4	Intersezioni a livelli sfalsati	18 Nelle strade a singola carreggiata è garantita la visibilità per il sorpasso per una lunghezza sufficiente del tracciato?	
	4.1 Ubicazione/spaziatura	19 La distanza di visibilità per l'arresto è rispettata sulla maggior parte del tracciato anche per le velocità operative previste?	
	4.2 Visibilità	20 La presenza delle opere d'arte, delle intersezioni/svincoli, delle variazioni di sezione trasversale e delle singolarità viene percepita da una distanza adeguata alla velocità operativa prevista?	
	4.3 Leggibilità/facilità di comprensione	21 La visibilità è ostacolata da elementi posti a margine della carreggiata quali:	
	4.4 Corsie di accelerazione e decelerazione	- vegetazione?	
	4.5 Rampe	- edifici?	
	4.6 Opere sussidiarie	- cartelli stradali?	
PE5	Segnaletica e illuminazione	- barriere di sicurezza?	
	5.1 Segnaletica orizzontale	- parapetti, staccionate?	
	5.2 Segnaletica verticale	Sezione trasversale	
	5.3 Limiti di velocità	22 I seguenti elementi possono costituire un fattore di pericolo (data la classe di strada, il volume e il tipo di traffico):	
	5.4 Delineazione	- numero e larghezza delle corsie?	
	5.5 Semafori	- banchine?	
	5.6 Illuminazione	- margini laterali?	
PE6	Margini	- spartitraffico?	
	6.1 Presenza di ostacoli non protetti	23 Si sono dovuti prevedere dei restringimenti della sezione trasversale per situazioni particolari che possono comportare problemi di sicurezza?	
	6.2 Adeguatazza delle classi di barriera	24 Se presente, l'organizzazione degli spazi nello spartitraffico è appropriata per la classe di strada, il tipo di traffico e per il rispetto della distanza di visibilità per l'arresto?	
	6.3 Transizioni tra i differenti tipi di barriera	25 E' necessaria la presenza di un marciapiede?	
	6.4 Terminali delle barriera	26 E' sufficiente la sezione trasversale ad assicurare il regolare deflusso dei ciclisti?	
	6.5 Condizioni di installazione delle barriere	27 La sezione trasversale si conserva costante anche in corrispondenza delle opere d'arte?	
	6.6 Interazione tra barriere di sicurezza e altri oggetti	28 La sezione trasversale è idonea all'installazione di tutte le opere accessorie previste (barriere, cunette, parapetti, etc.)?	
PE7	Pavimentazione	29 Le pendenze trasversali delle corsie e delle banchine sono adeguate per il drenaggio dell'acqua piovana?	
	7.1 Aderenza	Drenaggi	
	7.2 Velo idrico	30 Vi è la possibilità di allagamenti dovuti a canali di drenaggio di caratteristiche insufficienti presenti nelle vicinanze?	
PE8	Utenze deboli	31 Le dimensioni delle opere di regimazione idraulica sono adeguate?	
	8.1 Effetti di rete	32 La spaziatura dei tombini è adeguata?	
	8.2 Attraversamenti pedonali		
	8.3 Percorsi pedonali		
	8.4 Ciclisti		
	8.5 Motociclisti		
PE9	Parcheggi e sosta		
	9.1 Parcheggi		
	9.2 Sosta		
PE10	Interventi di moderazione del traffico		
	10.1 Dossi artificiali		
	10.2 Mini-rotatorie		
	10.3 Restringimenti di corsia e deviazioni orizzontali		
	10.4 Intersezioni rialzate		

Tabella A.23 - Check list progetto esecutivo, [59].

STRADE ESISTENTI - Struttura delle liste di controllo

E1 Aspetti generali		
1.1 Traffico		
1.2 Piazzole		
1.3 Condizioni ambientali		
1.4 Paesaggio circostante		
1.5 Servizi		
1.6 Dispositivi di sicurezza (SOS, antinebbia)		
1.7 Veicoli di manutenzione e di emergenza		
1.8 Abbagliamento notturno		
1.9 Accessi		
1.10 Sviluppi adiacenti		
E2 Geometria		
2.1 Velocità di progetto		
2.2 Tracciato planimetrico		
2.3 Tracciato altimetrico		
2.4 Coordinamento piano-altimetrico		
2.5 Visibilità		
2.6 Sezione trasversale		
2.7 Drenaggi		
2.8 Scarpate		
E3 Intersezioni a raso		
3.1 Ubicazione/spaziatura		
3.2 Visibilità		
3.3 Leggibilità/facilità di comprensione		
3.4 Corsie ausiliarie/canalizzazione/accordi		
3.5 Manovre		
3.6 Intersezioni regolate da precedenza		
3.7 Intersezioni semaforizzate		
3.8 Passaggi a livello		
3.9 Rotatorie		
E4 Intersezioni a livelli sfalsati		
4.1 Ubicazione/spaziatura		
4.2 Visibilità		
4.3 Leggibilità/facilità di comprensione		
4.4 Corsie di accelerazione e decelerazione		
4.5 Rampe		
4.6 Opere sussidiarie		
E5 Segnaletica e illuminazione		
5.1 Segnaletica orizzontale		
5.2 Segnaletica verticale		
5.3 Limiti di velocità		
5.4 Delineazione		
5.5 Semafori		
5.6 Illuminazione		
E6 Margini		
6.1 Presenza di ostacoli non protetti		
6.2 Adeguatezza delle classi di barriera		
6.3 Transizioni tra i differenti tipi di barriera		
6.4 Terminali delle barriere		
6.5 Condizioni di installazione delle barriere		
6.6 Interazione tra barriere di sicurezza		
E7 Pavimentazione		
7.1 Tessitura		
7.2 Aderenza		
7.3 Velo idrico		
7.4 Stato della pavimentazione		
E8 Utenze deboli		
8.1 Attraversamenti pedonali		
8.2 Percorsi pedonali		
8.3 Ciclisti		
8.4 Motociclisti		
E9 Parcheggi e sosta		
9.1 Parcheggi		
9.2 Aree di sosta		
E10 Interventi di moderazione del traffico		
10.1 Dossi artificiali		
10.2 Mini-rotatorie		
10.3 Restringimenti di corsia e chicane		
10.4 Intersezioni rialzate		

Tabella A.24 - Check list strade esistenti, [59].

Site general description	
Street name:	Problem number:
ID GPS waypoint:	ID first and last photo:
<ul style="list-style-type: none"> - Curve: <input type="checkbox"/> - Tangent: <input type="checkbox"/> - Longitudinal grade: level <input type="checkbox"/> slope <input type="checkbox"/> - Embankment: <input type="checkbox"/> Cut: <input type="checkbox"/> Cut and fill: <input type="checkbox"/> Bridge: <input type="checkbox"/> Tunnel: <input type="checkbox"/> 	
Problems description	
Horizontal alignment problems <ul style="list-style-type: none"> - Curve preceded by long tangent : <input type="checkbox"/> - Series of curves: <input type="checkbox"/> - Inadequate super elevation: <input type="checkbox"/> - Super elevation measure: right lane _____ left lane _____ - Visibility obstructions: <input type="checkbox"/> - Available sight distance: _____ Notes:	Vertical alignment problems <ul style="list-style-type: none"> - Crest: <input type="checkbox"/> - Inadequate visibility: <input type="checkbox"/> - Available sight distance: - Sag: <input type="checkbox"/> - High longitudinal grade: <input type="checkbox"/> Notes:
Cross section <ul style="list-style-type: none"> - Lane width: - Shoulder width: Notes:	Roadsides <ul style="list-style-type: none"> - Embankment inadequately shielded: <input type="checkbox"/> - Bridge inadequately shielded: <input type="checkbox"/> - Dangerous terminals and transitions: <input type="checkbox"/> - Trees, utility poles, rigid obstacles: <input type="checkbox"/> - Unrecoverable ditches: <input type="checkbox"/> - Others: _____ Notes:
Presence of accesses: <input type="checkbox"/>	Notes:
Inadequate friction: <input type="checkbox"/>	Notes:
Pavement unevenness: <input type="checkbox"/>	Notes:
Inadequate markings: <input type="checkbox"/>	Notes:
Inadequate signs: <input type="checkbox"/>	Notes:
Inadequate delineation: <input type="checkbox"/>	Notes:
Road users dangerous behaviors <ul style="list-style-type: none"> - High operating speeds: <input type="checkbox"/> - Queues: <input type="checkbox"/> - Wrong maneuvers <ul style="list-style-type: none"> o Late braking: <input type="checkbox"/> o Dangerous passing: <input type="checkbox"/> o Invasion of opposite lanes: <input type="checkbox"/> Notes:	
Accident signs (damaged barriers, glasses on the pavement, braking marks, etc.): <input type="checkbox"/>	Notes:
Sheet 2 (not to scale)	
Site condition diagram:	Sketch of potential accidents:
Notes	Description of potential accident scenarios:

Tabella A.25 - Road segments inspection module, [53].

Intersection general description	
Intersection type: <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> X <input type="checkbox"/> Y <input type="checkbox"/> Roundabout <input type="checkbox"/> Other (specify)	
Name of intersecting streets:	
ID GPS waypoint:	ID first and last photo:
Problems description	
Horizontal alignment – Intersection located inside a curve: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no – Intersection located outside a curve: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no – Curve in one of the approach legs: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no Notes:	Vertical alignment – Intersection located on a crest: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no – Crest in one of the approach legs: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no – High longitudinal grade: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no – Intersection located on a sag: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no – Continuity of the secondary road profile: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no Notes:
Left turn and right turn lanes – Left turn lane: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no – Too high left turn volume: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no – Left turn volume count: – Right turn lane.: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no – Too high right turn volume: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no – Right turn volume count: Notes:	Channeling – Ghost island on secondary road: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no – Curbed left turn lane: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no – Inadequate canalization islands: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no Notes:
Visibility obstructions: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no	Notes:
Presence of accesses: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no	Notes:
Roadside obstacles: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no	Notes:
Inadequate friction: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no	Notes:
Inadequate notice signs: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no	Notes:
Inadequate direction signs: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no	Notes:
Inadequate regulatory and warning signs <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no	Notes:
Inadequate markings: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no	Notes:
Inadequate delineation: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no	Note:
Road users dangerous behaviors – High approach speeds: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no – Long queues: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no – Wrong maneuvers <ul style="list-style-type: none"> ○ Late braking: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no ○ Poor compliance of traffic regulations: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no ○ Invasion of opposite lanes: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no ○ Short gap acceptance : <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no 	
Accident signs (damaged barriers, glasses on the pavement, braking marks, etc.): <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no	Notes:
Sheet 2 (not to scale)	
Intersection condition diagram:	Sketch of potential accidents:
Notes	Description of potential accident scenarios:

Tabella A.26 - Intersections Inspection Module, [53].

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] *Libro Bianco. La Politica Europea dei Trasporti fino al 2010: il momento delle scelte.* Commissione delle Comunità Europee, Bruxelles, 2001.
- [2] http://europa.eu/abc/keyfigures/index_it.htm.
- [3] *Influenza delle caratteristiche plano-altimetriche sul comportamento di guida. La velocità operativa.* Claudia Piras, Francesco Pinna - Cagliari 2007.
- [4] Osservatorio AIRP sulla Mobilità Sostenibile - Comunicato stampa 5.11.2010.
- [5] *World Report on Road Traffic Injury Prevention.* World Health Organization, 2004.
- [6] *European status report on road safety.* World Health Organization, 2009.
- [7] *I dati sugli incidenti stradali rilevati nel 2008.* A.C.I..
- [8] *Decreto ministeriale del 05-11-2001, n.6792. Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade.* Ministero delle Infrastrutture e Trasporti.
- [9] *Linee guida per la sicurezza stradale.* Assessorato ai Trasporti, Infrastrutture Direzione Trasporti, Infrastrutture, Mobilità e Logistica - Regione Piemonte.
- [10] *Accident Risk and driver Behaviour.* H Summala. Safety Science, 1996 vol.22 n.1-3 pp.103-117.
- [11] *Risk homeostasis theory, utility and accident loss in a simulated driving task.* T. W. Hoyes et al. Safety Science, 1996 vol.22 n.1-3 pp.49-62.
- [12] *Risk homeostasis theory: an overview.* G. J S Wilde. Injury Prevention, 1998 vol.4 pp.89-91.
- [13] *Risk homeostasis theory: a rebuttal.* B. O'Neill, A. Williams. Injury Prevention, 1998 vol.4 pp.89-91.
- [14] *Risk business: safety regulations, risk compensation, and individual behavior.* J. Hedlung. Haddon Memorial Lecture. Injury Prevention, 2000 v.6 pp.82-90.
- [15] *Some further evidence refuting risk homeostasis theory.* L. Brindle, 1986 The lack of Paris ATEC 86 Proceedings.
- [16] *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.* American Association of State Highway and Transportation Officials, 2001;
- [17] *Highway design and traffic safety engineering handbook.* R. Lamm, B. Psarianos, T. Mailaender. McGraw-Hill, 1999. ISBN: 0070382956.
- [18] *State of the art of highway geometric design consistency.* G. Gibreel M. et al. Journal of transportation engineering, 07/08, 1999;
- [19] *Relationship between sight distance and operating speed on horizontal curves.* C. Piras, F. Pinna. IV International SIIV congress - Palermo (Italy), 10/2007;
- [20] *Prediction of operating speed on three-dimensional highway alignments* - Gibreel G. M., Easa S. M., Member, ASCE, and El-Dimeery I. A. - Journal of transportation engineering 01-02/2001
- [21] *NCHRP REPORT 502: Geometric Design Consistency on High-Speed Rural Two-Lane Roadways.* Transportation research board Washington, D.C. 2003;

- [22] *Speed Prediction for Two-Lane Rural Highways*. U.S. Department of Transportation Research/Federal Highway Administration - Research, Development, and Technology Turner-Fairbank Highway Research Center;
- [23] *Modello di previsione delle velocità praticate dagli utenti attraverso la definizione di una Velocità Ambientale*. B. Crisman et al. XIII Convegno Nazionale S.I.I.V. Padova, 10/2003;
- [24] *Operating Speed model on tangents of two-lane rural highways*. G. Dell'Acqua et al. IV International S.I.I.V. Congress - Palermo. 9, 2007;
- [25] *Highway Capacity Manual*. National Research Council - Transportation Research Board, 2000;
- [26] *Influenza delle caratteristiche plano-altimetriche sul comportamento di guida. La velocità operativa*. C. Piras, F. Pinna. Tesi di dottorato di ricerca in Ingegneria del Territorio, Università di Cagliari;
- [27] *Deceleration Model for Two-Lane Rural Roads*. Crisman et al. Advances in Transportation Studies - an international journal, Vol. XI 04/2007, Aracne, Roma;
- [28] *Operating speed-profile prediction model for two-lane rural roads in the Italian context*. A. Marchionna, P. Perco. International conference. Road Safety and Simulation. RSS Roma, 2007;
- [29] *Operating Speed Prediction Model For Two-Lane Rural Roads*. B. Crisman et al., Proceedings 3° International Symposium on Highway Geometric Design, Chicago, 06/07 2005;
- [30] *Potenzialità offerte dal Diagramma delle Velocità Operative nella definizione degli interventi di adeguamento delle strade esistenti*. A. Marchionna A., P. Perco - XVI Convegno Nazionale S.I.I.V. - 10/2006;
- [31] *Influence of the general character of the horizontal alignment on the operating speed of two-lane rural roads*. P. Perco. TRR, n.2075, TRB, National Research Council, Washington, 2008;
- [32] *Probabilistic approach to Consistency in Geometry design*. M. Hirsh. Journal of Transportation Engineering, vol.113, n.3, 05/1987;
- [33] *Highway design and traffic safety engineering handbook*. R. Lamm, B. Psarianos, T. Mailaender - McGraw-Hill, U.S.A., 1999;
- [34] *Analysis of inconsistencies related to design speed, operating speed and posted speed limit*. N. Stamtiadis, H. Gong. IV International SIIV congress - Palermo (Italy), 10/2007;
- [35] *Evaluating consistency of two-lane rural highways: an approach for little twisty alignments*. R. Roberti. IV International SIIV congress - Palermo (Italy), 10/2007;
- [36] *Interazione ambiente sicurezza nel progetto delle infrastrutture stradali: Rapporto conclusivo - Progetto di Ricerca IASPIS, Cofinanziamento MURST 1998*;
- [37] *Considerazioni sulla composizione planimetrica dei tracciati stradali con i nuovi criteri normativi*. G. Bosurgi, A D'Andrea, O. Pellegrino. XII Convegno Internazionale SIIV, Parma 30-31 Ottobre 2001;
- [38] *Relationship of Design, Operating, and Posted Speeds on Horizontal Curves of Rural Two-Lane Highways in Nebraska*. K. Schurr K.ed al. - Transportation Research Record 1796;
- [39] *Alternative design consistency rating methods for two-lane rural highways*. U.S. Department of Transportation Research/Federal Highway Administration - Research, Development, and Technology Turner-Fairbank Highway Research Center, 08/2000;
- [40] *Highway Design Consistency. Refining the State of Knowledge and practice*. Y. Hassan. TRR: Journal of the Transportation Research Board n.1881, pp. 63-71, 2004;
- [41] *La Sicurezza Stradale nell'Adeguamento della Viabilità Esistente; Design Consistency: verifiche geometriche, velocità operativa e comportamento di guida*. S. Cafiso. SIIV - La

- Sicurezza Stradale nell'Adeguamento della viabilità esistente, Catania 12/2005;
- [42] *Fuzzy Model for Safety Evaluation Process of New and Old Roads*. S. Cafiso, R. Lamm, G. La Cava. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. Vol 1881-2004 pp. 54-62;
- [43] *Speed Factors on Two-Lane Rural Highways in Free-Flow Conditions*. A. M. Figueroa Medina and Tarko A. P. - TRR: Journal of the Transportation Research Board, n.1912;
- [44] *Il VLI (Visual Load Index) quale nuovo indicatore dei tracciati stradali*. G. Bosurgi, A. D'Andrea, O. Pellegrino. XIII Convegno Nazionale S.I.I.V. - Padova 10/2003;
- [45] *Safety index for evaluation of two-lane rural highways*. S. Cafiso, G. La Cava e A. Montella. TRR: Journal of the Transportation Research Board, n°1912, 2005
- [46] *Design Consistency: Alignment Indices, Operating Speed and Driver Behavior*. . S. Cafiso S. - S.I.I.V. - La Sicurezza Stradale nell'Adeguamento della viabilità esistente, Catania 12/2005;
- [47] *La verifica sperimentale del Design Consistency dei tracciati stradali mediante l'analisi del comportamento dell'utente in Realtà Virtuale*. F. Bella, F. Pintus, XIII Convegno Nazionale S.I.I.V. Padova, 10/2003;
- [48] *HD 19/90. Departmental Standard Road Safety Audit*. Department of Transport, Londra, 1990;
- [49] *Safety Audit Policy and Procedures*. Transit New Zealand, 1993;
- [50] *Road safety audit*. Austroads, Sydney, 1994;
- [51] <http://www.roadwaysafetyaudits.org/>, consultazione Ottobre 2010;
- [52] *Road Safety Audits-Practice in Australia and New Zealand*, R. Morgan. Institute of Transportation Engineers. ITE Journal 7/2005 vol.75, n.7;
- [53] *Operative procedures for Road Safety Inspections*, S. Cafiso et al. 13th International Conference Road Safety on Four Continents, 5-7/10/2005, Varsavia, Polonia;
- [54] *Safety index for evaluation of two-lane rural highways*, S. Cafiso, G. La Cava e A. Montella. TRR: Journal of the Transportation Research Board, n. 2019/2007, pp. 136-145;
- [55] *Safety evaluation process for two-lane rural roads*, R. Lamm, B. Psarianos, and S. Cafiso. Transportation Research Record 1796/2002, pp.51-59;
- [56] *Safety reviews of existing roads*, A. Montella. TRR: Journal of the Transportation Research Board, N. 1922/2005, pp. 62-72;
- [57] *Safety assessment for two lane rural local roads - EU-IASP Project*, S. Cafiso, G. La Cava e A. Montella. AIPCR International Conference Paris 2007;
- [58] *Road Safety Audits: FHWA Case Study Program*. M. Gibbs et al. TRR: Journal of the Transportation Research Board, n. 1969/2006 pp.79-82;
- [59] *Linee guida per le analisi di sicurezza delle strade*. Ispettorato generale per la circolazione e la sicurezza stradale - Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2001;
- [60] Direttiva 2008/96/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 novembre 2008 *sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali*;
- [61] <http://www.ciht.org.uk> - The Chartered Institution of Highways & Transportation. Consultazione 10/2010;
- [62] *Methodologies for building transport models for routing applications from standard data sources: estimating road operative speeds*. G. Cantisani, M. Di Vito, G. Gentile, L. Meschini. Proceedings of the International Conference (Rome, 2009, June 22-23). pubblicato su *Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems* - G. Fusco. Edizioni Aracne. Isbn: 978-88-548-3025-7;

- [63] *D.I.T.S.: a software for sight distance verification and optical defectiveness recognition.* G. Cantisani, M. Di Vito. 4th International Symposium on Highway Geometric Design - Valencia 2-5 Giugno 2010;
- [64] *VPL Project'09: an integrated station for the vehicles' operating conditions survey.* G. Cantisani, M. Di Vito, P. Luteri. Ascee Journal of Transportation Engineering. (in referaggio);
- [65] *Tecniche di osservazione sperimentale dei parametri cinematici nei flussi veicolari.* P. Luteri, tesi di Laurea Specialistica anno accademico 2008/2009;
- [66] *Modellazione dell'ambiente stradale e Simulazione dell'interazione con l'utente.* M. Di Vito, tesi di Laurea anno accademico 2006/2007;
- [67] *High Safety Manual.* American Association of State Highway and Transportation Officials, 2010;
- [68] *Methodologies for building transport models for routing applications from standard data sources: estimating road operative speeds.* G. Cantisani, M. Di Vito, G. Gentile, L. Meschini. *Proceedings of the International Conference (Rome, 2009, June 22-23)* pubblicato su *Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems – G. Fusco.* Edizioni Aracne. Isbn: 978-88-548-3025-7;
- [69] <http://www.lancspartners.org/safetychecklist/index.asp> - *Road Safety Audit Interactive Checklist* - The Chartered Institution of Highways & Transportation. Consultazione 10/2010;
- [70] <http://www2.mainroads.wa.gov.au> - *Road Safety Audit Guidelines.* Consultazione 10/2010;
- [71] <http://www.transfund.govt.nz> - *New Zealand Transport Agency Road Safety Checklist.* Consultazione 10/2010;
- [72] *Road Safety Audits - NCHRP (National Cooperative Highway Research Program) Synthesis 336.* Transportation Research Board. Washington, D.C., 2004;